

# ПРОИЗВОДСТВО КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ

Под редакцией Н. И. Белоруссова  
и И. Б. Пешкова

*Допущено Министерством электротехнической промышленности в качестве учебника для техникумов*

МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ 1981

ББК 31.23

К 12

УДК 621.315.21.3.002(075.3)

Рецензенты: Томский электромеханический техникум  
П. И. Чудаков

Авторы: Н. И. Белоруссов, Р. М. Лакерник, Э. Т. Ларина,  
И. Б. Пешков, И. Б. Рязанов, Д. Л. Шарле

**Производство кабелей и проводов: Учебник для**  
К 12 техникумов/ Н. И. Белоруссов, Р. М. Лакерник,  
Э. Т. Ларина и др.; Под ред. Н. И. Белоруссова и  
И. Б. Пешкова. — М.: Энергоиздат, 1981. — 632 с  
ил.

В пер. 1 р. 20 к.

Изложены общие сведения о кабельном производстве и оборудовании. Приведены технологические параметры скрутки жил, наложения изоляции и скрутки токопроводящих изолированных жил в кабель. Приведены способы сушки кабелей и пропитки силовых кабелей. Описаны способы наложения металлических и неметаллических оболочек, способы наложения защитных покровов на кабели и провода, вспомогательные процессы в кабельном производстве и операционный контроль в производстве кабелей и проводов. Даны основы охраны труда и техники безопасности, а также основы проектирования кабельного производства.

Для учащихся электромеханических техникумов, специализирующихся в области кабельной техники.

К 30308-579  
051(01)-81 103-81 (Э). 2302020000

ББК 31.23

6П2.1.06

© Энергоиздат, 1981

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Повышение эффективности общественного производства и улучшение качества выпускаемой продукции возможно при техническом перевооружении промышленных предприятий, точном соблюдении установленной технологии, дальнейшем ее совершенствовании и улучшении организации производства. Производство кабелей, проводов и шнуров представляет собой сложный технологический комплекс. В нем применяется более 300 различных материалов. Основными проводниковыми металлами являются алюминий и медь. Для изоляции применяются кабельная бумага, полиэтилен, поливинилхлоридный пластикат, фторопласт, каучук, лаки, натуральные и синтетические волокнистые материалы. Оболочки кабелей изготавливаются из алюминия, свинца, стали, пластмасс, резины и других материалов. Защитные покрытия кабелей выполняются из стальных лент или проволок, пластмасс и пропитанных волокнистых материалов. В кабельном производстве используется более 300 разнообразных технологических процессов, требующих глубокого их понимания и творческого осуществления.

Настоящий учебник «Производство кабелей и проводов» составлен по утвержденной учебной программе для электромеханических техникумов, готовящих специалистов средней квалификации по кабельному производству. В соответствии с этой программой технологические процессы начинаются со скрутки токопроводящих жил, а изготовление проволоки и наложение на нее защитных покрытий по учебному плану относятся к специальному курсу и в настоящем учебнике не рассматриваются. В учебнике рассмотрены технологические процессы: скрутка жил, наложение изоляции, скрутка изолированных жил, наложение оболочек, экранов и защитных покрытий. Кроме того, кратко изложены вопросы контроля в производстве, основы техники безопасности, промышленной и пожарной безопасности, а также основы ор-

ганизации производства и проектирования кабельных предприятий.

Настоящий учебник предназначен для учащихся техникумов по специальности «Производство кабелей и проводов». Он может быть использован в качестве учебного пособия студентами высших учебных заведений, готовящих специалистов по кабельному производству. Учебник также будет полезен для специалистов научно-исследовательских институтов, КБ и промышленных предприятий кабельной промышленности.

Отдельные главы учебника написаны следующими авторами: Н. И. Белоруссовым: § 3.1 — 3,4; 4.8; 8.3; 9.2; 9.3; 12.3, гл. 13, § 14.4, 15.1 и составлен предметный указатель; Н. И. Белоруссовым совместно с Д. Л. Шарле гл. 1; Р. М. Лакерником: § 4.5, 4.6, 10.6, гл. 11, 16 и 17; Э. Т. Лариной: § 3.5 — 3.7, 4.3, 4.4, 9.1, 10.1 — 10.5, 14.1 — 14.3, 15.2 и 15.5; И. Б. Пешковым: § 4.2, 4.7, 4.9, гл. 7, § 8.4, 8.5 и 15.3; И. Б. Рязановым: гл. 5 и 6, § 12.1, 12.2, 12.4 и 15.4; Д. Л. Шарле: гл. 2 и 18, § 4.1, 8.1, 8.2, 9.4 — 9.6; Д. Л. Шарле совместно с Н. И. Белоруссовым гл. 1. Общее редактирование учебника осуществлено Н. И. Белоруссовым и И. Б. Пешковым.

Изданные в 1962 и 1964 гг. два тома учебного пособия «Кабели и провода» под общим руководством проф. В. А. Привезенцева были первой попыткой обобщения технологии кабельного производства, они сыграли большую роль в подготовке инженерно-технических кадров, а также повышении квалификации работников кабельной промышленности.

Авторы выражают глубокую благодарность В. И. Константиновой и П. П. Чудакову, тщательно просмотревшим рукопись и сделавшим много ценных замечаний.

Авторы будут признательны читателям за их замечания и пожелания, направленные по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоиздат.

*Н. И. Белоруссов  
И. Б. Пешков*

## **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

Длина кабелей, проводов и шнуров во много раз превышает их наружный диаметр или поперечные размеры. Вследствие этого большинство технологических процессов и операций по изготовлению кабеля (провода, шнура) выполняется при поступательном (осевом) перемещении заготовки через машину или агрегат. Благодаря одинаковому диаметру или сечению токопроводящей жилы по длине имеется возможность непрерывного наложения изоляции заданной толщины. Скрученные из изолированных жил кабели (провода) также имеют постоянный по длине диаметр или поперечное сечение и на них могут непрерывно накладываться оболочка и защитные покровы. Для возможности перемещения по цеху с целью осуществления последующих технологических процессов полуфабрикаты кабелей (проводов, шнуров) принимают на барабаны, катушки, в контейнеры или бухты.

Последовательность технологических процессов и операций кабельного производства должна обеспечить получение кабеля или провода заданной конструкции, с заданными электрическими и физико-механическими свойствами, нормированной строительной длины и гарантированной надежности. Различие в конструкциях кабельных изделий обуславливает различную последовательность технологических процессов и операций. Общим для всех кабельных изделий является наличие металлических (обычно медных или алюминиевых) токопроводящих жил. (Единственное исключение в ближайшем будущем составят разрабатываемые оптические кабели связи — световоды.)

Жилы силовых кабелей как для стационарной прокладки, так и для передвижных механизмов, а также силовых, осветительных, бортовых, монтажных и других проводов иногда изготавливают однопроволочными, но чаще многопроволочными — и те и другие круглыми или фасонными (секторными, сегментными). Жилы гибких проводов — шнуров всегда многопроволочные. Жилы кабелей связи и обмоточных проводов, наоборот, в подавляющем большинстве случаев однопроволочные. Жилы контрольных и сигнально-блокировочных кабелей только однопроволочные. Внутренний проводник коаксиальных радиочастотных кабелей одно- или многопроволочный.

Вследствие того что процессы изготовления медной и алюминиевой катанки (различными методами), волочения медной и алюминиевой проволоки, а также прессования сплошных токопроводящих жил и наложения защитных покрытий медной проволоки (лужение, серебрение и никелирование) изучаются в специальном курсе, в настоящем учебнике они не рассматриваются.

В зависимости от конструкции токопроводящих жил процесс собственно изготовления кабелей и проводов начинается либо со скрутки жил с последующим их изолированием, либо непосредственно с изолирования жил. Изолирование является единственным технологическим процессом при изготовлении некоторых типов обмоточных и монтажных проводов.

В настоящем учебнике процесс кабельного производства описывается начиная со скрутки токопроводящих жил.

В зависимости от назначения технологические процессы и операции кабельного производства включают: скрутку (проволок в токопроводящие жилы и изолированных жил в кабель); изолирование (токопроводящих жил и сердечника — наложение на него поясной изоляции); экранирование (жил, групп, кабелей); сушку и пропитку (кабелей); наложение оболочки (металлической, пластмассовой, резиновой); наложение защитных покрытий, в том числе брони.

Технологически различаются скрутки: однонаправленная и разнонаправленная, повивная и пучковая (см. гл. 2). Процесс изолирования может производиться следующими методами: методом обмотки лентами (бу-

мажными, пластмассовыми, синтетическими) и (или) нитями (из бумаги, натурального или искусственного волокна); методом экструзии, т. е. выпрессования (пластмассы или резины); методом осаждения — эмалевого лака из его раствора или расплава, бумажной массы из водной суспензии волокон целлюлозы.

Процессы экранирования выполняются либо методом обмотки лентами, либо методом оплетки пряжами. Сушку производят методом нагрева или при атмосферном давлении, или в сочетании с вакуумированием. Пропитка осуществляется либо путем простого контакта заготовки с пропиточным компаундом, либо путем ввода последнего в заготовку под давлением. Процесс наложения оболочки так же, как процесс изолирования, возможен тремя методами: экструзии (пластмассы, резины), прессования (свинец, алюминий), сварки (алюминиевая и стальная ленты). Процессы наложения защитных покровов, как и сами покровы, разнообразны. При этом используются многие из уже перечисленных методов. Здесь и обмотка бронелентами, крепированной бумагой, кабельной пряжей, стекловолокном, и оплетка волокнистыми материалами, и пропитка методом поливки компаундами. Смешанным обмоточно-крутильным процессом является наложение брони из стальных круглых или фасонных проволок. Наконец, к этим же процессам относится экструдирование защитного пластмассового шланга.

Нетиповыми операциями кабельного производства можно считать формирование изоляции из полиэтиленовых шайб на внутреннем проводнике коаксиального кабеля связи методами насадки или отливки, изготовление жаростойких кабелей с минеральной изоляцией, а также изолирование жил городских телефонных кабелей пористой бумажной массой.

По характеру воздействия на заготовку часть технологических процессов кабельного производства относится к механической обработке (обмотка, оплетка, скрутка). Тепловой обработкой являются операции сушки, отжига, спекания. Сочетания механической и тепловой обработки представляют собой экструдирование пластмассовой и резиновой изоляции, в том числе с вулканизацией последней, экструдирование неметаллической и прессование металлической оболочки; наложение стек-

ловолокнистой изоляции. Процессы эмалирования и изолирования бумажной массой характеризуются сочетанием осаждения изоляции с тепловым воздействием на нее (и механическим — в случае бумажной массы).

подавляющее большинство технологических операций непрерывные в том смысле, что они осуществляются последовательно по мере прохождения через машину установленной строительной длины изготавливаемого изделия (кратковременные остановки — периодические для смены заготовки и случайные для устранения возникших дефектов принципиальный характер процесса не изменяют).

К циклическим операциям относятся отжиг проволоки в печах периодического действия, сушка и пропитка кабеля в котлах.

## **1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ КАБЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Исторически сложившаяся классификация кабельного оборудования базируется преимущественно на двух различных признаках: назначении машины и ее принципе действия. Согласно этому основное технологическое оборудование разделяется на прокатное, волочильное, травильное, отжигальное (все это согласно изложенному в § 1.1 в настоящем учебнике не рассматривается, за исключением установок непрерывного отжига, совмещенных с оборудованием для выполнения последующих операций) и далее крутильное, изолировочное, крутильно-изолировочное, экструзионное, эмалировочное, сушильно-пропиточное, прессовое, сварочное, бронировочное, оплеточное. В одних случаях оба базовых признака совпадают, например для прокатного и крутильного оборудования, в других доминирует какой-либо один из двух, например в наименованиях изолировочного и бронировочного оборудования — назначение, а экструзионного, прессового, сварочного — принцип действия.

К вспомогательному оборудованию относится бумаго- и пленкорезательное, тростильное, перемоточное, мас-соварочное и др.

Наиболее многообразны по принципу осуществления скрутки, конструкции и габаритам крутильные машины. Их классификация дана в гл. 2. Под изолировочным



оборудованием обычно подразумевают машины для наложения изоляции методом обмотки. В частности, машины для обмотки нитями традиционно принято называть обмоточными. Изолировочные машины в зависимости от расположения обмотчика (обмотчиков) разделяются на машины с центральным (ми) и эксцентричным (ми) обмотчиком (ами). В свою очередь, эксцентричные обмотчики бывают простые, плоские, тангенциальные и полутангенциальные. К изолировочному оборудованию относится также агрегат для изолирования жил бумажной массой (бумаго-массный агрегат) и агрегаты для изготовления коаксиальных пар с шайбовой и баллонной изоляцией.

Экструзионное оборудование различается по габаритам, точнее, по диаметру основного рабочего механизма — червяка. Экструдеры с червяком относительно меньшего диаметра применяются для наложения изоляции, а с червяком большего диаметра — для наложения оболочки и защитного шланга. Эмаль-агрегаты разделяются по габаритам и в зависимости от положения оси изготавливаемого провода — на вертикальные или горизонтальные (см. § 1.3). Сушильные котлы в зависимости от положения собственной оси также бывают вертикальные и горизонтальные.

Прессовое оборудование для наложения металлических оболочек классифицируется по многим признакам. Известны прессы периодического и непрерывного действия, горизонтальные и вертикальные, гидравлические и червячные. Наконец, в зависимости от материала оболочки, для наложения которой предназначен пресс, их называют сокращенно «свинцовый» и «алюминевый».

Агрегаты для наложения оболочки из алюминиевой или стальной ленты различаются по методу электро-сварки: высокочастотной или на постоянном токе — дуговой в атмосфере аргона (аргонодуговой).

Бронировочное оборудование разделяется в зависимости от рода накладываемой брони на лентобронировочные и проволоко-бронировочные машины. Могут быть комбинированные лентопроволочные бронировочные машины. Оплеточные машины по принципу действия разделяются на карусельные и челночные. Машины для наложения защитной оплетки из стальной проволоки называются бронеплеточными.

### 1.3. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КАБЕЛЬНЫХ МАШИН

В подавляющем большинстве машин имеются четыре основных механизма: отдающее устройство (называемое также отдатчиком), в которое устанавливается отдающая тара (барабан, катушка, контейнер) с заготовкой и с которого заготовка поступает в машину; рабочий механизм, с помощью которого осуществляется заданный технологический процесс (скрутка жилы, наложение изоляции и др.); тяговое устройство, обеспечивающее продольное перемещение изготавливаемого изделия через машину с постоянной линейной скоростью; приемное устройство (иначе приемник), в которое устанавливают приемную тару (барабан, катушку, контейнер) и в которое поступает изделие, прошедшее через машину.

Кроме того, каждая машина имеет привод, состоящий из электродвигателя и механических передач для подбора необходимого режима работы машины, механизмы раскладки изделия на приемном барабане (катушке) и регулирования частоты вращения приемной тары в зависимости от заполнения ее изделием. Барабаны (катушки) характеризуются тремя размерами: диаметром щеки  $D_{щ}$ , диаметром шейки  $d_{щ}$  и расстоянием между щеками  $b$ .

В некоторых крутильных машинах, проволоко-бронировочных и др. рабочий механизм объединен с отдающим или приемным устройством.

В процессе производства приемный барабан (катушка, контейнер) одной машины заполняется (после осуществления технологического процесса), снимается и передается на другую машину для выполнения следующей операции. Возникает необходимость перемещения машинной тары, а также неизбежность перезаправки машины на новую строительную длину полуфабриката или изделия (кабеля, провода).

С целью уменьшения операций перезаправки машин, сокращения внутрицехового перемещения полуфабриката, внутрицеховой тары, цикла производства, производственных площадей и рабочей силы применяют объединение или совмещение нескольких технологических операций в один общий процесс. Несколько рабочих механизмов объединяются в один агрегат (поточную линию) при сохранении общих отдающего, тягового и приемно-

го устройств. Агрегаты (поточные линии) могут быть однородными, выполняющими однотипный процесс (например, при совмещении нескольких клеток или двух сигарных машин при скрутке жил больших сечений, нескольких бумагообмотчиков на изолировочной машине для возможности наложения большей толщины изоляции и др.), или комбинированными, выполняющими разнотипные процессы (например, при совмещении скрутки жил с отжигом; волочения проволоки, ее отжига и наложения пластмассовой изоляции; отжига проволоки, наложения резиновой изоляции и непрерывной ее вулканизации и др.).

В зависимости от положения оси изготавливаемого изделия в машинах их именуют горизонтальными (бумагоизолировочные машины для жил больших сечений и наложения большого количества лент, эмаль-агрегаты для изготовления проводов малых диаметров, обмоточные машины для изоляции проводов больших сечений и др.) и вертикальными (бумаго- и пряжеобмоточные машины для изоляции проводов малых сечений, эмаль-агрегаты для изготовления прямоугольных проводов и т. д.).

Машины могут быть одноходовыми и многоходовыми. Ходом машины называют рабочий механизм с отдающим, тяговым и приемным устройствами, работающими от индивидуального привода. Многоходовые машины представляют собой группу одноходовых машин, смонтированных на одной станине и имеющих общий или раздельный привод (многоходовые эмаль-агрегаты имеют группы направляющих роликов в печи, многоходовые отдающие и приемные устройства и общее тяговое устройство). Большинство вертикальных обмоточных машин — многоходовые, а горизонтальных — одно- или двухходовые.

Машины могут быть одностороннего и двустороннего обслуживания. Машины одностороннего обслуживания (преимущественно горизонтальные) с противоположной стороны имеют главный вал с системой передач. В машинах двустороннего обслуживания (преимущественно вертикальных) главный вал и система передач закрыты кожухом для предотвращения доступа к ним работающих и с целью рационального использования площади. С одной стороны машины устанавливают отдающую тару, а с другой — приемную.

## 1.4. ОТДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Отдающие устройства предназначены для установки отдающей тары с заготовкой — барабанов, катушек, контейнеров, бухт. Различают три типа отдающих устройств: совмещенные с рабочим механизмом машины, независимые от него и комбинированные.

Отдающие устройства, совмещенные с рабочим механизмом, применяются на клетьевых и дисковых крутильных машинах и на проволоко-бронировочных. В этом случае отдающие катушки (барабаны) с заготовкой (проволокой, изолированной жилой и др.) устанавливают в люльки клетьевых или на кронштейны дисковых машин (см. гл. 2).

Отдающие устройства независимого типа могут быть связаны со станиной машины или расположены отдельно. Эти устройства предназначены для установки: вращающихся барабанов (катушек), неподвижных барабанов (катушек) с разматывающим механизмом или без него, контейнеров и бухт с заготовкой.

Наиболее распространены независимые отдающие устройства с вращающимся барабаном или катушкой. Они могут быть осевые, пинольные (полуосевые) или на опорных валках или роликах.

Отдающее устройство осевого типа (рис. 1.1) имеет станину, на боковых стойках которой укреплены гнезда подшипников, связанные с червяком и приводом. Ось с надетым на нее барабаном (катушкой) устанавливают в этих гнездах с шарикоподшипниками или подшипниками скольжения. В устройствах, рассчитанных на установку барабанов, гнезда подшипников выполняются подвижными для возможности подъема барабана на высоту, удобную для свободного сматывания с него заготовки. Подъем и опускание оси с барабаном осуществляется путем вращения червяка, приводимого от электродвигателя или вручную. Механизм подъема барабана оборудован конечными выключателями для автоматического выключения электропривода при достижении заданной высоты. На оси отдающего устройства укрепляют две конические втулки, ограничивающие перемещение барабана (катушки) вдоль оси, а также центрирующие барабан (катушку) с целью обеспечения равномерной размотки заготовки. На оси укреплены рычаг с поводковым пальцем для установки в отверстие

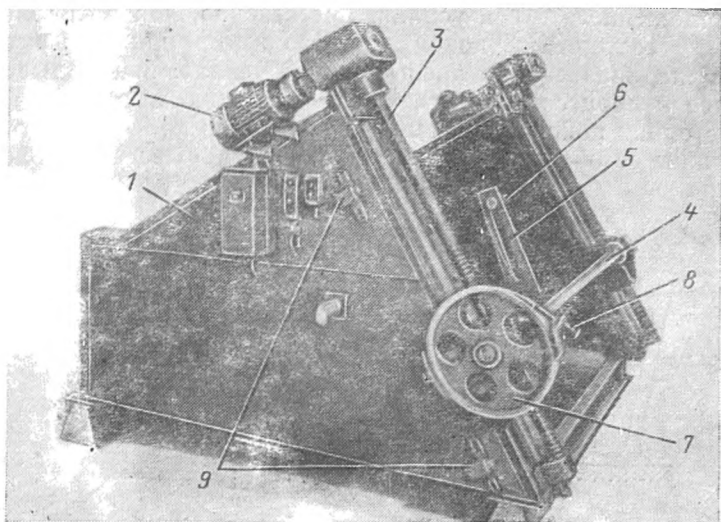


Рис. 1.1. Отдающее устройство осевого типа.

1 — стойка; 2 — электродвигатели привода механизма подъема барабана; 3 — червяк подъема барабана; 4 — ось; 5 — рычаг; 6 — поводковый палец; 7 — тормозной шкив; 8 — винт регулирования натяжения тормозной ленты; 9 — нижний и верхний конечные выключатели.

щеки барабана (катушки) и тормозное колесо с ленточным тормозом.

Широко распространено осевое устройство для барабанов диаметром 760 мм, изображенное на рис. 1.2. Это устройство снабжено приспособлением для автоматического регулирования натяжения сходящей с отдающего барабана заготовки. При ослаблении натяжения заготовки 1, сходящей с барабана 2, ось которого укреплена в стойке 3, пружина 4 оттягивает качающийся рычаг 5 с направляющим роликом 6 на конце влево. При этом усилие воздействия тормозной ленты 7 на шкив 8 увеличивается и возрастает торможение барабана 2. При чрезмерном натяжении заготовки 1 сила воздействия пружины 4 преодолевается, рычаг 5 наклоняется вправо и торможение барабана 2 ослабевает.

Разновидностью осевых устройств являются панели, на конусном выступе которых устанавливают катушку с проволокой, разматываемую под воздействием

приложенного к ней усилия. Естественно, для преодоления состояния покоя необходимо прикладывать усилие, значительно превышающее усилие, прикладываемое в процессе работы, когда катушка выведена из состояния покоя. Во время таких рывков проволоки возможны ее обрывы или вытяжка. При обрыве проволоки

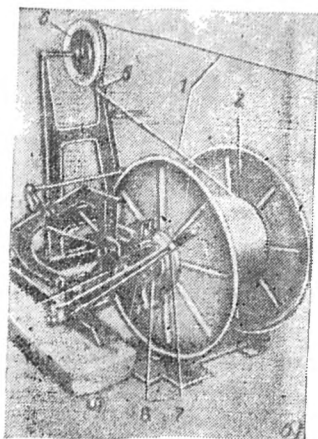
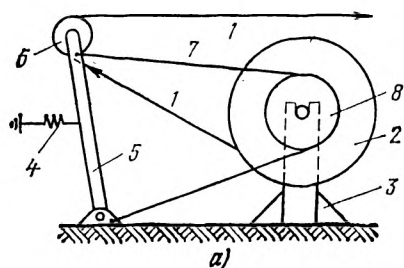


Рис. 1.2. Осевое отдающее устройство с автоматическим регулированием натяжения заготовки.

а — схема; б — общий вид.

крутильная машина автоматически останавливается, а отдающие катушки продолжают вращаться, сбрасывая с себя витки проволоки. Для предотвращения этого отдающие панели (с нижней стороны) снабжают тормозами, включаемыми при остановке машины. Подобные отдающие устройства размещают на полу или на уступах станины этажерочного типа, предназначаются они для питания крутильных машин рамочного типа, эмаль-агрегатов и обмоточных машин.

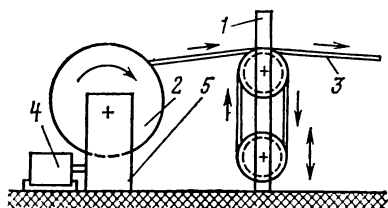
С целью уменьшения усилия, прикладываемого к проволоке, особенно малых сечений, применяются катушки емкостью 0,5—3 кг, в осевое отверстие которых вставляется ось с центрирующими конусными втулками. Катушки устанавливают вертикально в гнездах оси. При надлежащей смазке и отрегулированном нажатии на опоры достигается легкое сматывание проволоки с катушки.

Исключение вытяжки проволоки или изолированной жилы достигается в отдающих устройствах осевого типа,

снабженных механизмом, вращающим отдающую катушку в том же направлении, в котором разматывается проволока (изолированная жила), но с незначительным опережением, чтобы усилие, прикладываемое к проволоке, не превышало предела пропорциональности, равного для меди 8—15 МПа. Для поддержания заданного усилия и выравнивания рывков отдающее устройство снабжают компенсатором (см. § 1.8), имеющим верхние неподвижные и нижние подвижные ролики, укрепленные на основании,двигающемся вдоль паза рейки, и воздействующим на электропривод отдающей катушки, уско-

Рис. 1.3. Осевое отдающее устройство с принудительной размоткой заготовки без вытяжки.

1 — стойки компенсатора; 2 — отдающий барабан; 3 — заготовка; 4 — электродвигатель; 5 — редуктор.



ря или замедляя его вращение. Схема осевого отдающего устройства с принудительной размоткой заготовки приведена на рис. 1.3. Подобные отдающие устройства применяются во всех технологических процессах по изготовлению жил сечением 0,5 мм<sup>2</sup> и ниже.

В отдающих устройствах пинольного (полуосевого) типа (рис. 1.4) ось разделена пополам и половины ее консольно укреплены в подшипниках боковых стоек. Одна полуось закреплена неподвижно, а вторая с помощью винтовой нарезки перемещается в горизонтальной плоскости, сжимая конические наконечники в отверстиях барабана. В отдающих устройствах такого типа облегчается и ускоряется операция перезаправки барабана в сравнении с осевыми, а подъем и опускание барабанов обеспечиваются путем углового перемещения боковых стоек с применением электро-, гидро- и пневмопривода. Неподвижная пиноль снабжена рычагом с поводковым пальцем для вращения барабана и фрикционным или ленточным тормозом.

Некоторые отдающие устройства размещены на рельсовом пути, по которому с помощью червяка перемещается подвижная стойка в горизонтальном направлении, что позволяет использовать отдающее устройство

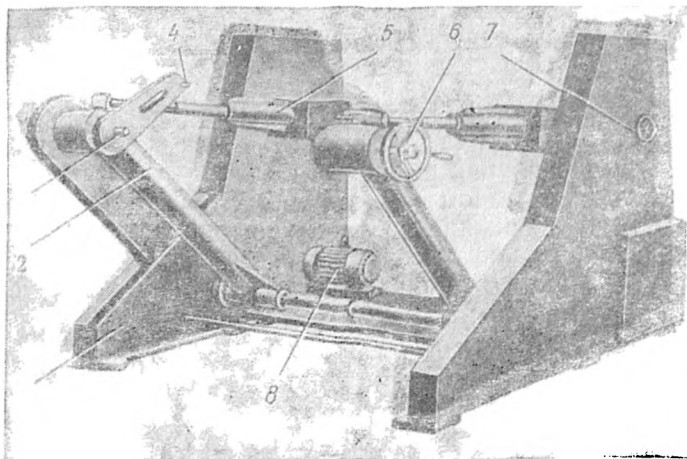


Рис. 1.4. Отдающее устройство пинольного типа.

1 — станина; 2 — подъемный рычаг; 3 — пиноль; 4 — поводковый палец; 5 — телескопическая винтовая тяга подъема и опускания барабана; 6 — штурвал для перемещения пиноли; 7 — штурвал для поперечного перемещения подвижного рычага и телескопической тяги; 8 — электродвигатель привода телескопических тяг.

для установки барабанов различной ширины. Стрела провеса кабеля регулируется электрической системой управления со следящим устройством, работающим от плавающего ролика, фиксирующего стрелу провеса и

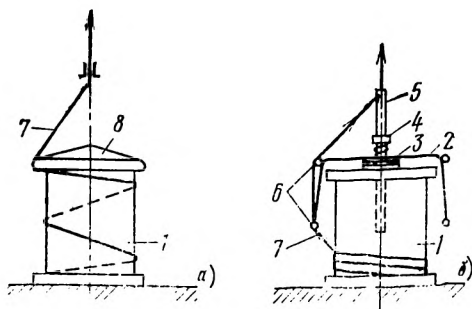


Рис. 1.5. Схема безынерционных отдающих устройств с невращающейся катушкой.

а — непосредственное сматывание; б — с применением вращающейся рамки (флайера); 1 — отдающая катушка; 2 — вращающаяся рамка (флайер); 3 — фрикционный диск; 4 — вилл регулирования фрикциона; 5 — ось вращающейся рамки (флайера); 6 — направляющие втулки; 7 — сматываемая проволока; 8 — диск.



подающего сигнала в систему управления приводным электродвигателем отдающего устройства.

Отдающее устройство с невращающейся катушкой, установленной горизонтально, с наклоном или вертикально на щеку изображено на рис. 1.5. Такое отдающее устройство получило название безынерционного в отличие от инерционных, в которых при обрыве заготовки отдающая катушка продолжает вращаться по инерции до полной остановки, сбрасывая с себя проволоку.

При непосредственном сматывании с катушки вдоль ее оси по образующей щеки проволока претерпевает трение о соседние витки на катушке и о щеку катушки. Для уменьшения трения проволоки о щеку катушки и исключения ее повреждения на эту щеку катушки надевают полированный диск, по которому скользит проволока. Чтобы предотвратить спадание витков проволоки, ее тормозят. Торможение достигается применением диска на щеке катушки с кольцевой канавкой, в которой помещают капроновую нить и под нее подпускают разматываемую проволоку. На катушку надевают конус с полированной поверхностью и кольцо с выступающей пленкой (проволока проходит в щель между конусом и кольцом) или кольцо армируют щетиной. Проволока, сходя с катушки, получает незначительное торможение, необходимое для натяжения при скрутке жил или эмалировании.

Размещение отдающих катушек в цилиндре или конусе создает при размотке демпфирующее торможение схода проволоки при высоких скоростях, благодаря чему уменьшается ее обрывность.

Безынерционные отдающие устройства (для непосредственного съема) используются с целью обеспечения непрерывной работы агрегатов для наложения пласт-

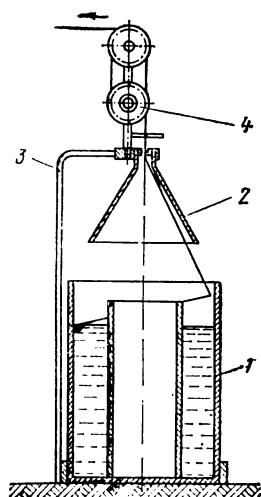


Рис. 1.6. Отдающее устройство контейнерного типа.

1 — контейнер; 2 — направляющий конус (отражатель); 3 — стойка; 4 — направляющие ролики с тормозным фрикционом.

массовой и резиновой изоляции. В этом случае нижний конец токопроводящей жилы на одном барабане сваривается с верхним концом жилы на втором барабане. После схода жилы с одного барабана продолжается непрерывная работа с использованием второго барабана.

Безынерционные отдающие устройства со съемом проволоки с помощью флайера могут быть вертикальными (рис. 1.5,б) и горизонтальными. Сматываемая проволока, не касаясь щеки катушки, проходит через направляющие втулки вращающейся рамки (флайера).

Отдающие устройства контейнерного типа (рис. 1.6) представляют собой вертикальный сплошной или сетчатого типа цилиндр с внутренним цилиндром, между которыми находится проволока или изолированная жила. Чтобы заготовка свободно выматывалась из контейнера, ее витки укладываются эллипсами с постепенным угловым смещением большой оси. Над контейнером устанавливается направляющий конус, обеспечивающий более плавную отдачу заготовки при повышенных скоростях. На относительно малых скоростях заготовка из контейнера выматывается через направляющие втулки или ролики. Натяжение заготовки, выматываемой из контейнера, может регулироваться системой роликов с трением.

В безынерционных отдающих устройствах (в том числе контейнерного типа) заготовка, сматываясь с катушки или поступая из контейнера, получает одну закрутку на виток ее намотки на катушке или в контейнере; такая закрутка относительно мала и не вызывает вредной деформации проволоки.

Отдающие устройства для работы с бухт могут быть двух типов: с разъемной катушкой и с вращающимся вертикальным конусом. Заготовка с бухты, располагаемой на разъемной катушке, разматывается аналогично размотке с катушки. Из-за деформации бухты витки заготовки могут перепутываться, что приводит к обрыву. При разматывании заготовки с бухты на конусе натяжение заготовки неравномерно из-за западания витков. Для повышения равномерности натяжения заготовки конус снабжают тормозом. Для отдачи прямоугольной проволоки применение вертикальных конусов недопустимо, так как перед поступлением в бумагоизолирующую машину проволока будет закручиваться на  $90^\circ$ .

## 1.5. НАКОПИТЕЛИ

С целью длительной безостановочной работы оборудования применяются накопители, позволяющие без остановки оборудования обеспечить установку нового барабана и сращивание заготовки на ходу. Наибольшее распространение получили накопители для заготовок гибких кабелей перед наложением оболочки, для проволоки перед наложением на нее эмалевой изоляции и для ленты в сварочном агрегате для наложения алюминиевой или стальной оболочки.

Накопитель для гибких кабелей (рис. 1.7) представляет собой станину, на которой укреплено на неподвиж-

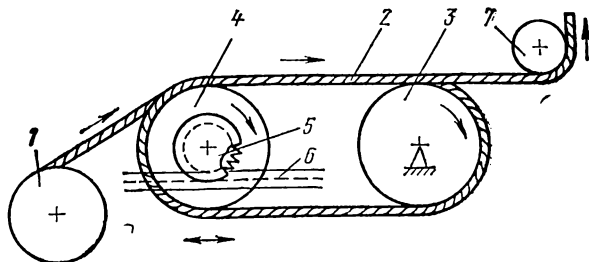


Рис. 1.7. Накопитель заготовки кабеля.

1 — отдающий барабан с заготовкой кабеля; 2 — заготовка кабеля; 3 — неподвижное колесо накопителя; 4 — подвижное колесо накопителя; 5 — зубчатое колесо; 6 — зубчатая рейка; 7 — направляющий ролик.

ной оси колесо с кольцевыми канавками для кабеля, а второе такое же колесо связано с зубчатыми рейками, проложенными вдоль станины. При максимальном удалении подвижного колеса от неподвижного в канавках колес размещается около 160 м кабеля. По мере приближения подвижного колеса к неподвижному происходит уменьшение длины заготовки кабеля, находящегося на колесах накопителя. Во время сближения колес накопителя агрегат продолжает работать с постоянной скоростью и производится смена отдающего барабана со срасткой концов кабеля (чаще временной). Когда концы кабеля будут сращены, привод накопителя переключается на скорость, большую рабочей скорости агрегата. Подвижное колесо отводится на максимальное расстояние от неподвижного. В это время подготавливается к сращиванию новая длина заготовки.

Накопитель проволоки на эмали-агрегатах (рис. 1.8) представляет собой стойку с двумя цилиндрами, на один из которых наматывают проволоку с отдающей катушки, а на второй цилиндр — проволоку с новой катушки, производят ее сварку и зачистку от заусенцев. Во время установки новой катушки и сварки проволоки эмали-агрегат продолжает работать, причем проволока сходит с цилиндра накопителя.

Накопитель ленты в сварочном агрегате для наложения алюминиевых и стальных оболочек представляет собой колодец (трубу, погруженную в землю), в кото-

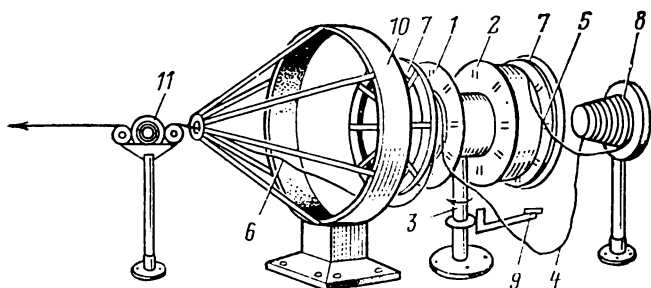


Рис. 1.8. Накопитель проволоки при перезаправке отдающей катушки на эмали-агрегате.

1 и 2 — катушки; 3 — поворотная стойка; 4 — внутренний конец намотки; 5 — наружный конец намотки; 6 — проволока; 7 — флайер; 8 — конусный компенсатор; 9 — педаль фиксации поворотной стойки; 10 — заградительное кольцо; 11 — регулируемый фрикцион.

ром лента проходит через два ролика, а средняя часть ленты (между двумя роликами) с помощью подвижного ролика погружена в колодец. Во время сращивания концов ленты агрегат продолжает работать, расходуя ленту из накопителя.

## 1.6. ТЯГОВЫЕ УСТРОЙСТВА

Тяговые устройства машины (агрегата), как было указано выше, обеспечивают поступательное движение изготавливаемого изделия с постоянной скоростью. Привод тягового устройства может осуществляться от главного приводного вала, от общего привода машины или быть автономным.

Тяговые устройства могут быть колесного и гусеничного типов. Тяговое колесо (рис. 1.9) диаметром от 0,25 до 3,5 м (в зависимости от диаметра кабеля или провода) имеет обод шириной 15—400 мм с конусностью 2—4°. Обкружное усилие, обеспечивающее поступательное движение изделия через машину, создается силой трения между изделием и поверхностью обода вращающегося тягового колеса. Для создания такого трения необходимо сделать 2—8 оборотов изделия вокруг тягового колеса.

Тяговое колесо снабжено шестерней с внутренним или наружным зацеплением. Линейная скорость изделия, м/мин, практически совпадает с окружной скоростью тягового колеса и равна:

$$v_{л} = \omega_{т.к} \left( \frac{D_{т.к}}{2} + \frac{d_{и}}{2} \right) = 2\pi n_{т.к} \left( \frac{D_{т.к}}{2} + \frac{d_{и}}{2} \right) = \\ = \pi (D_{т.к} + d_{и}) n_{т.к} \approx \pi D_{т.к} n_{т.к}, \quad (1.1)$$

где  $D_{т.к}$ ,  $n_{т.к}$ ,  $\omega_{т.к}$  — диаметр, м, частота вращения, об/мин, и угловая скорость, рад/мин, тягового колеса;  $d_{и}$  — диаметр изделия, м.

Так как диаметр изделия значительно меньше диаметра тягового колеса, то в формуле (1.1) можно не учитывать  $d_{и}$  и получить приближенный результат. Чтобы витки кабеля не накладывались один на другой, производится непрерывное сдвигание их с освобождением тем самым места для очередного витка. За один оборот тягового колеса должен произойти сдвиг изделия на расстояние, равное его диаметру. Подобный сдвиг витков производится посредством отводного ножа, отводного кольца или двоянных тяговых колес.

Отводной нож (рис. 1.10,а) представляет собой металлическую пла-

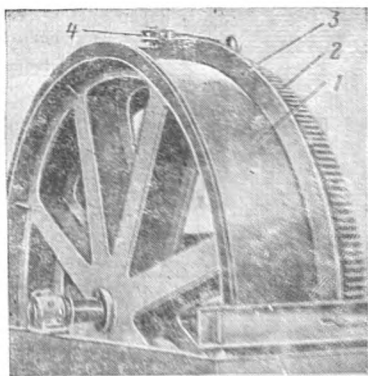


Рис. 1.9. Тяговое колесо.

1 — обод; 2 — приводная шестерня; 3 — качающееся отводное кольцо; 4 — отклоняющий ролик.

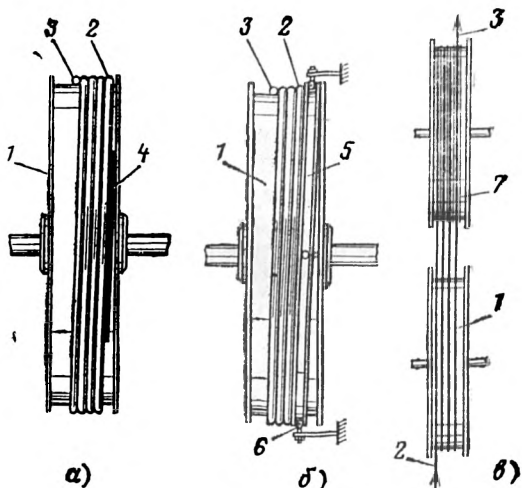


Рис. 1.10. Тяговые колеса с приспособлениями для сдвига витков кабеля.

*а* — с неподвижным отводным ножом; *б* — с отводным кольцом; *в* — со вспомогательным сдвигающим колесом с канавками на ободе; 1 — тяговое колесо; 2 — поступающий виток кабеля; 3 — сходящий виток кабеля; 4 — отводной нож; 5 — отводное кольцо; 6 — установочные отклоняющие ролики; 7 — вспомогательное колесо.

стину (сектор), неподвижно укрепленную на рабочей поверхности тягового колеса под незначительным углом к оси изделия. Недостатком такого ножа является сдвиг витков на сравнительно коротком участке при большом давлении ножа на поверхность изделия, за счет чего может произойти недопустимая деформация.

Отводное качающееся металлическое кольцо (рис. 1.9 и 1.10,б) располагается на тяговом колесе таким образом, что между рабочей поверхностью тягового колеса и кольцом остается небольшой зазор. Для вращения кольца вместе с тяговым колесом к внутренней его поверхности приварено несколько пальцев. В ободе тягового колеса параллельно его оси сделаны прорезы для пальцев кольца. Системой из 2—3 пар отклоняющих роликов отводное кольцо удерживается в таком положении, что в месте подхода изделия к поверхности тягового колеса кольцо находится в крайнем положении, ближайшем к торцевой плоскости тягового колеса, а в диаметрально противоположной точке, наоборот, в положении, наиболее удаленном от торца тягового колеса. Таким образом, отводное кольцо располагается все время наклонно

под углом  $3-5^\circ$  к торцевым плоскостям тягового колеса. По мере вращения тягового колеса кольцо под воздействием отклоняющих роликов постепенно перемещается по ширине тягового колеса, отжимая всей плоскостью поступающий на тяговое колесо виток изделия. При перемещении опорных роликов изменяется смещение отводного кольца в соответствии с диаметром принимаемого изделия. Так как кольцо вращается одновременно с тяговым колесом, исключается трение между изделием и кольцом, а также уменьшается давление на смещаемый виток изделия.

Тяговые устройства со вспомогательным колесом с канавками на ободе (рис. 1.10, в) также обеспечивают сдвиг принимаемого изделия. Встречаются тяговые устройства с двумя колесами, имеющими гладкую поверхность, но в этом случае вспомогательное колесо устанавливается наклонно по отношению к плоскости основного колеса. Основное тяговое колесо устройства этого типа имеет принудительное вращение с постоянной скоростью от привода машины (агрегата), а вспомогательное колесо свободно вращается на неподвижной оси за счет трения между его поверхностью и изделием. Каждый виток изделия на  $180^\circ$  огибает тяговое и вспомогательное колеса, благодаря чему на тяговом колесе витки укладываются в ряд, не набегая один на другой.

Некоторые поточные линии и агрегаты для изготовления изолированных жил и проводов малых сечений оборудуются тяговым устройством с прижимным ремнем (рис. 1.11). Такое устройство имеет тяговое колесо, снабженное прижимным ремнем, касающимся поверхности колеса. Изолированная жила (провод) прижимается к поверхности колеса ремнем, тем самым исключается ее проскальзывание. Бесконечный ремень проходит через

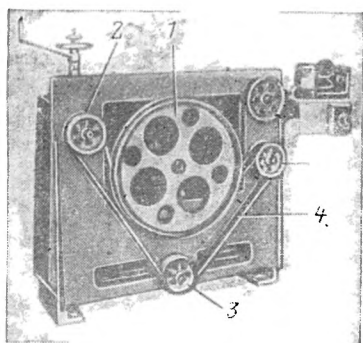


Рис. 1.11. Тяговое колесо с прижимным ремнем.

1 — тяговое колесо; 2 — направляющие ролики; 3 — натяжной ролик; 4 — ремень.

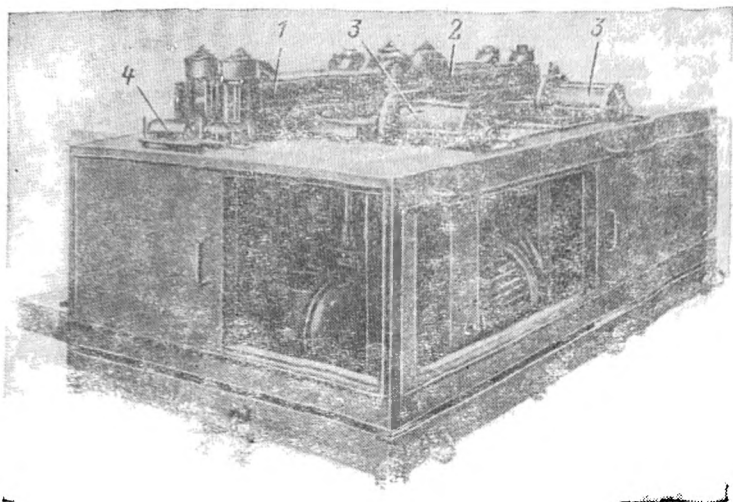


Рис. 1.12. Гусеничное тяговое устройство с бесконечной цепью и резиновыми накладками.

1 — резиновые накладки; 2 — оси; 3 — цилиндры гидросистем для изменения расстояния между гусеницами; 4 — направляющие валики.

два направляющих ролика и один натяжной, обеспечивающий регулирование расстояния между колесом и ремнем.

Гусеничные тяговые устройства изготавливаются трех основных типов: с двумя бесконечными цепями и укрепленными на них резиновыми накладками (башмаками); с двумя эластичными износостойчивыми ремнями (устройство ленточного типа); с тремя бесконечными цепями и укрепленными на них резиновыми накладками.

Устройства с двумя цепями или двумя ремнями изготавливаются с гусеницами, расположенными в вертикальной или горизонтальной (рис. 1.12) плоскости и движущимися в противоположных направлениях. В устройствах с тремя бесконечными цепями, размещенными под углом  $120^\circ$ , нижняя цепь расположена в вертикальной плоскости и является опорой для принимаемого изделия. Все гусеничные тяговые устройства снабжены ручным или гидравлическим механизмом для изменения расстояния между цепями или ремнями в зави-



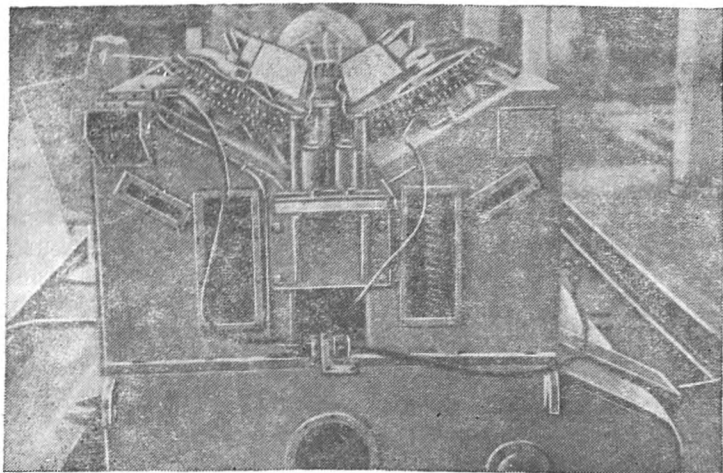


Рис. 1.13. Тяговое устройство из трех гусениц.

симости от диаметра протягиваемого изделия. Резиновые накладки в месте соприкосновения с принимаемым изделием имеют желобчатый профиль, обеспечивающий плотный захват изделия в определенном диапазоне его диаметров. Для бумагоизолирующих машин, на которых изготавливаются прямоугольные обмоточные провода, применяют накладки с плоской поверхностью, изготовленные из резины белого цвета, не загрязняющей изоляцию провода.

Тяговое усилие  $T$  зависит от силы  $P$ , с которой гусеницы сжимают изделие, и коэффициента трения между ними  $\tau$ . Например, при  $P=10^4$  Н и  $\tau=0,35\div 0,4$  с учетом двух поверхностей сцепления (обе бесконечные ветви гусеницы являются ведущими)  $T=2P\tau=2\cdot 10^4 \times 0,4=8$  кН. Сила сжатия изделия гусеницами зависит от давления воздуха в пневмосистеме  $p$ , которое обычно составляет 0,3—0,5 МПа ( $P=10^4$  Н получается при  $p=0,3$  МПа). В то же время предельная сила сжатия ограничена допустимым давлением на сантиметр длины изделия. Последнее в зависимости от конструкции кабеля (провода) составляет 100—250 Н/см. При  $P=10^4$  Н длина активного участка гусеничного тягового устройства  $l_{\text{акт}}$  должна быть 1000—400 мм. В подавляющем большинстве устройств  $l_{\text{акт}} \leq 1000$  мм.

При необходимости получить более высокое тяговое усилие или пониженное давление на изделие применяются последовательно установленные две-три секции гусеничного устройства с общим синхронизированным механическим приводом и независимыми пневматическими зажимающими устройствами для каждой секции.

Регулирование усилия сжатия в гусеничном устройстве с пружинными зажимами осуществляется затяжкой пружин, степень которой неудобно контролировать. Регулирование усилия сжатия в тяговом устройстве с пневматической системой осуществляется поворотом рукоятки регулятора давления и легко контролируется при помощи манометра.

В тяговых устройствах с тремя гусеницами (рис. 1.13) резиновые накладки имеют Z-образную форму, благодаря чему расширяется диапазон захватываемых кабелей. При сведении гусениц профильные резиновые накладки входят своими выступами в зацепление с двумя другими, закрепленными на двух цепях, и обеспечивают зацепление изделия малого диаметра. При

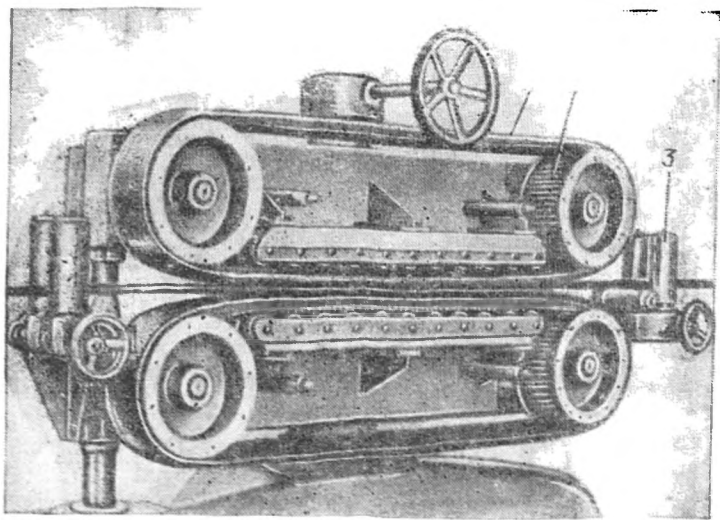


Рис. 1.14. Ленточное тяговое устройство.

1 — эластичные ленты; 2 — приводные рифленные ролики; 3 — направляющие валики.

неполном сжатии гусениц между ними образуется зазор, приводящий к проскальзыванию кабеля.

Тяговые гусеничные устройства ленточного типа (рис. 1.14) имеют две пары приводных роликов, между которыми натянута бесконечная лента, прижимаемая к изделию системой роликов. Эластичные ленты при нажатии на изделие частично огибают его, обеспечивая меньшее давление на изделие, чем в гусеничном устройстве с резиновыми накладками. Некоторые модели ленточных тяговых устройств снабжены системой нажимных роликов, имеющих надувные камеры, что снижает давление на изделие.

• Гусеничные тяговые устройства обеспечивают протягивание изделия без его изгибов и деформаций в противоположность тяговым устройствам колесного типа, где изделие изгибается под давлением, которое может вызывать сдвиг его поверхностных слоев. В случае неполадок в приводе приемного барабана гусеничный механизм прочно удерживает изделие, предотвращая его провисание перед приемным устройством.

## 1.7. ИЗМЕРИТЕЛИ ДЛИНЫ

Измерение длины изготавливаемых изделий производится счетным механизмом, либо связанным с приводным механизмом тягового колеса зубчатой (цепной) передачей либо независимым. Последний расположен непосредственно над тяговым колесом (рис. 1.15) и состоит из мерительного колеса с длиной окружности, равной 1 м, и счетчика, сидящих на одной оси или соединенных зубчатой передачей. Вращение мерительного колеса осуществляется за счет сил трения, возникающих между ними и изделием.

При использовании гусеничного тягового устройства применяют независимый измеритель длины, устанавливаемый перед тяговым устройством. На станине укреплен опорный ролик и по нему

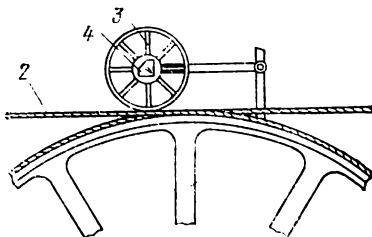


Рис. 1.15. Измеритель длины кабельного изделия.

1 — тяговое колесо; 2 — изделие; 3 — мерительное колесо; 4 — счетчик.

проходит изделие, положение которого фиксируется системой горизонтальных и вертикальных направляющих роликов. Мерительное колесо со счетным механизмом расположено выше опорного ролика и катится по изделию. Силу трения между изделием и мерительным колесом регулируют, перемещая груз по длине рычага.

Точность измерения длины может быть повышена за счет уменьшения проскальзывания между изделием и мерительным колесом. Одним из вариантов повышения точности измерения длины является применение сдвоенных мерительных колес (рис. 1.16), охватываемых об-

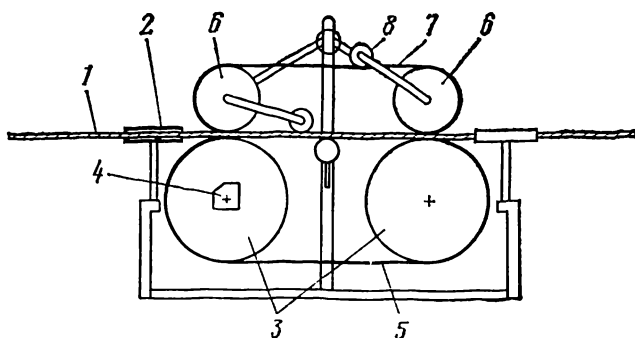


Рис. 1.16. Измеритель длины со сдвоенными мерительными колесами. 1 — изделие; 2 — калибры; 3 — мерительные колеса; 4 — счетчик; 5 — приводной ремень; 6 — прижимные ролики; 7 — прижимной ремень; 8 — натяжные ролики.

щим приводным ремнем. Над мерительными колесами на этой же стойке шарнирно укреплены нажимные ролики, создающие плотный контакт с приводным ремнем на определенной длине. На валу одного из мерительных колес установлен счетчик.

Другой механизм для измерения длины изделия состоит из трех свободно вращающихся колес, размещенных под углом  $120^\circ$  одно относительно другого и поджимаемых пружинами к проходящему между ними изделию (рис. 1.17). Каждое колесо через две конические шестерни и вал передает вращение общей шестерне, связанной с валом измерительного механизма.

Прием изделия заданной длины достигается с помощью стоп-счетчика, автоматически останавливающего агрегат, машину или перемоточный станок при достижении заранее заданной длины. Механизм со счетчиком СК-1 обеспечивает автоматическое срабатывание при достижении заданной длины в пределах 00001—99 999 м. Счетчик СК-1 состоит из двух систем цифровых барабанов, связанных зубчатой передачей, и механизмов: передачи от приводного вала к цифровым барабанам, сброса показаний на нулевое положение, остановки и установки счетчика на заданную длину. После прохождения через агрегат (машину) заданной длины изделия, когда на первой цифровой шкале показания будут сброшены до нуля, рычаг счетчика поворачивается и замыкает контакт цепи автоматического отключения привода машины. Механический счетчик может быть заменен электронным.

При пользовании мерительным колесом вследствие неизбежного проскальзывания изделия относительно поверхности мерительного колеса возникает погрешность измерения в пределах 0,25—1,0%. Показания счетчика будут меньше фактической длины. Если привод счетчика жесткий и осуществляется непосредственно от вала тягового колеса, то его показания будут несколько больше фактической длины изделия из-за проскальзывания последнего относительно поверхности тягового колеса.

В кабелях связи для определения длины кабеля или его отрезка применяется мерно-опознавательная лента, представляющая собой бумажную ленту, помещаемую внутрь кабеля под оболочкой, на поверхности которой нанесены цифровые обозначения ее длины в дециметрах. На этой же ленте может печататься обозначение завода-изготовителя и год изготовления кабеля.

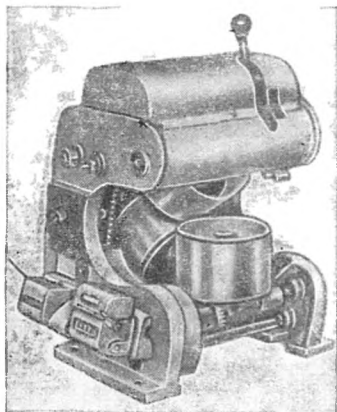


Рис. 1.17. Измеритель длины с тремя мерительными колесами.

## 1.8. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

Приемное устройство (иначе, приемник) предназначено для установки приемной тары (вращающихся барабанов или катушек, неподвижных контейнеров или бухт) и правильной укладки на (в) приемную тару изготавливаемого изделия. Приемные устройства могут быть встроенными в станину машины (агрегата) или устанавливаться

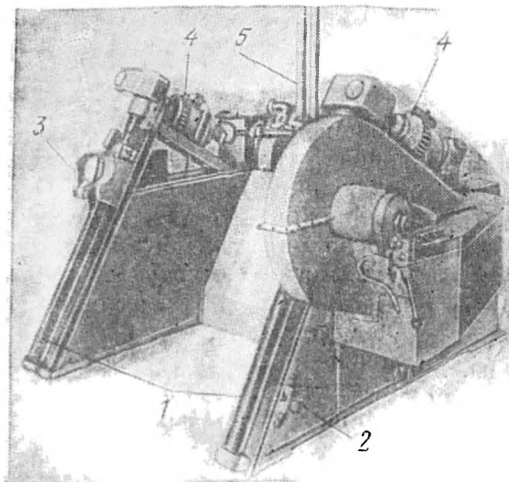


Рис. 1.18. Приемное устройство осевого типа.

1 — наклонные подъемные винты; 2 — конечный выключатель; 3 — основание подшипника оси; 4 — электродвигатели подъема винтов; 5 — вилка раскладчика.

ся автономно. Приемные устройства осуществляют прием изготавливаемого изделия на барабан (катушку), а также в контейнер или в бухту.

Приемные устройства для установки в них барабанов (катушек) могут быть осевого, пинольного и безосевого типов.

Приемное устройство осевого и пинольного типов состоит из станины, механизма раскладки, механизмов регулирования частоты вращения приемного барабана и скорости перемещения вилки раскладчика.

Осевые приемные устройства могут быть горизонтальными и вертикальными, хотя вертикальные приемные устройства применяются редко. Осевые приемные устройства (рис. 1.18) конструктивно подобны соответствующим отдающим устройствам, но отличаются от них наличием приводной системы и механизма раскладки

(см. § 1.9). Привод приемного устройства осуществляется от главного вала агрегата (машины), от вала тягового устройства или от самостоятельного электродвигателя посредством цепных, зубчатых или ременных передач и фрикционных муфт и передает вращение оси приемного

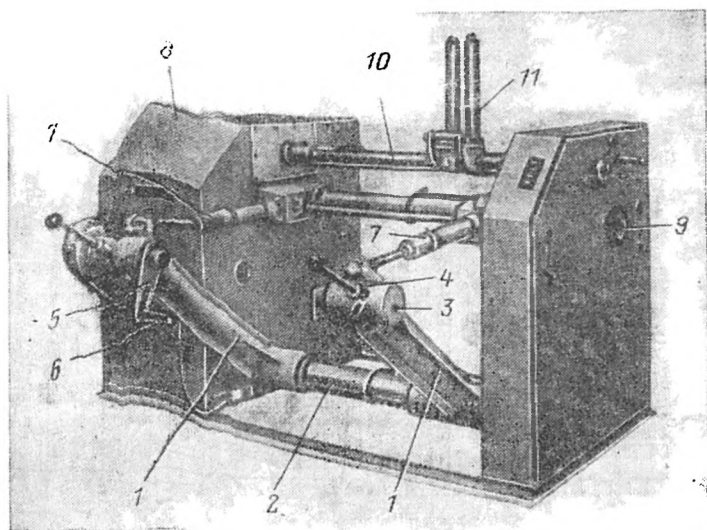


Рис. 1.19. Приемное устройство пинольного типа с пневматическим подъемом кронштейнов.

1 — кронштейны; 2 — ось вращения кронштейнов; 3 — пиноли; 4 — рукоятка перемещения пинолей; 5 — рычаг; 6 — поводковый палец; 7 — домкраты; 8 — стойки с приводной системой; 9 — штурвал перемещения правого кронштейна; 10 — винт механизма раскладки; 11 — вилка механизма раскладки.

барабана (катушки). Подъем и опускание оснований подшипников оси барабана (катушки) производятся вручную, от одного или двух электродвигателей или посредством гидро- или пневмосистемы.

Приемные устройства пинольного типа изображены на рис. 1.19. Для барабанов большего диаметра применяются приемные устройства с вертикальными стойками. Подъем и опускание барабанов осуществляются с помощью двух червяков, приводимых во вращение индивидуальными электродвигателями.

Сдвоенное осевое приемное устройство для непрерывного приема изделия приведено на рис. 1.20. Изделие после компенсатора и вилки механизма раскладки поступает на один из приемных барабанов, закрепленных на консольной оси. После заполнения барабана изделием срабатывает ограничивающий контакт и происходит перевод изделия на второй барабан. Одновременно раскладчик перемещается в его зону. Нож между бараба-

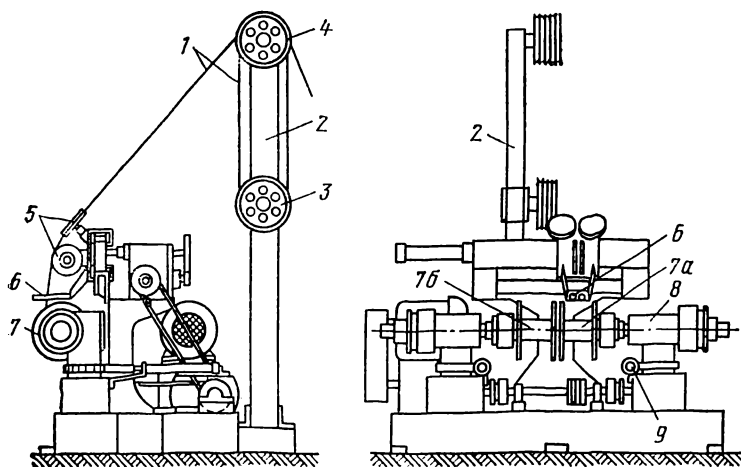


Рис. 1.20. Сдвоенное осевое приемное устройство непрерывного действия.

1 — провод; 2 — стойка компенсатора; 3 — подвижные ролики компенсатора; 4 — неподвижные ролики компенсатора; 5 — механизм раскладки; 6 — вилка механизма раскладки; 7 — приемные барабаны; 8 — основание кронштейна оси приемного устройства; 9 — механизм поворота кронштейна.

нами разрезает изделие, и заполненный барабан останавливается. Посредством рукоятки он поворачивается на  $90^\circ$  и снимается с оси, а вместо заполненного устанавливается свободный барабан.

Для компенсации разницы линейных скоростей тягового механизма и приемного устройства в момент перехода с одного барабана на другой применяется специальный компенсатор, состоящий из двух систем роликов. Нижние подвижные ролики снабжены грузом. Перемещение подвижных роликов вызывает изменение сопротивления реостата или же индуктивности цепи, воздей-



ствуя на частоту вращения приемного барабана. При ослаблении натяжения изделия подвижный ролик опускается, выбирая слабинку, и приемный барабан начинает вращаться быстрее, а в случае увеличения натяжения изделия ролики поднимаются вверх и вращение барабана замедляется.

Устройство для приема изолированной жилы (провода) в контейнер или на конус (рис. 1.21) представляет

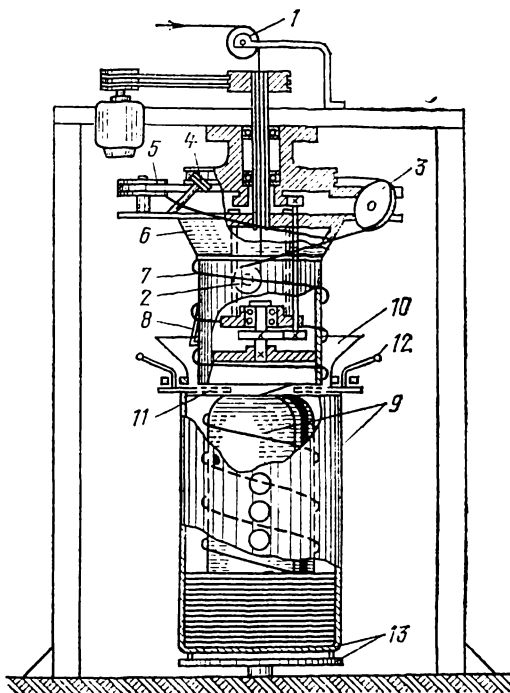


Рис. 1.21. Прием провода в контейнер.

собой выносной механизм на отдельной станине. Изолированная жила поступает через направляющий ролик 1, огибает три направляющих ролика 2—4 и, пройдя под прижимным ремнем 5, наматывается на конусный барабан 6, с которого затем переходит на цилиндрический барабан 7, вращающийся медленнее конусного барабана. После схода с цилиндрического барабана витки

изолированной жилы укладываются в определенном порядке в контейнер 9 (принимаются на конус). Равномерная укладка жилы (провода) в контейнер достигается с помощью специального выступа 8 на боковой поверхности цилиндрического барабана.

Непрерывный прием жилы (провода) в контейнер обеспечивается за счет применения поворотного стола на два — пять контейнеров или рольганга, проходящего поперек поточных линий, и накопителя, расположенного между приемным устройством 6—7 и контейнером 9. Накопитель представляет собой воронку 10 с диафрагменным затвором 11. После заполнения одного контейнера поворотом рукоятки 12 выдвигается под барабан 7 диафрагма и витки жилы начинают накапливаться над ней; в это время заполненный контейнер посредством подвижного опорного стола 13 заменяется пустым. Диафрагма накопителя открывается, и накопленные витки жилы падают в новый контейнер. Устройства для приема изолированной жилы в контейнер обеспечивают работу поточных линий со скоростью до 2400 м/мин.

На поточных линиях изготовления изолированных жил кабелей связи их прием осуществляется иногда на конус с поддоном (отсутствует наружный цилиндр). Такие упрощенные устройства приняты в качестве внутрицеховой тары в условиях, при которых вероятность повреждения изоляции незначительна. Эти конусы затем поступают на последующие технологические операции, например, скрутку изолированных жил в группы (пары или четверки), где являются отдающими устройствами. При скоростях свыше 600 м/мин размотка заготовки происходит с баллонированием, когда витки за счет центробежных сил выходят за габариты конуса и начинают ударяться о станину отдающего устройства. Для устранения такого явления конус снабжают баллоноограничителями цилиндрической формы (получается контейнер нормальной модели с двумя стенками).

Корзина для приема силовых кабелей или кабелей связи представляет собой разновидность контейнера. Поскольку скорость приема кабеля в корзину не превышает 20 м/мин, а диаметр его может быть около 100 мм, приемное устройство представляет собой вращающийся стол, на который устанавливается корзина. Скрученное изделие укладывается в корзину рядами посредством механизированного раскладчика или вручную. Стол

приемного устройства снабжен тормозом для его остановки или замедления при изменении скорости приема кабеля в корзину.

Безосевые приемные устройства представляют собой два утопленных на уровне пола вала, на которые устанавливаются приемный барабан. Путем вращения приводного вала (от электропривода) приводится во вращение барабан, а рядовая раскладка кабеля осуществляется вручную. Такие примитивные приемные устройства малопроизводительны и в последнее время применяются редко.

## 1.9. МЕХАНИЗМЫ РАСКЛАДКИ

Механизм раскладки предназначен для равномерной рядовой укладки кабеля (провода) или его элементов вдоль приемного барабана или катушки. Механизм раскладки состоит из собственно раскладчика и привода этого раскладчика. Раскладчик представляет собой вилку из вращающихся валиков или сплошного металла, называемую водилкой, в середине которой перпендикулярно оси барабана проходит изделие, совершая вдоль оси приемного барабана (катушки) возвратно-поступательное движение (см. рис. 1.18 и 1.19). Пределы перемещения раскладчика должны в точности соответствовать ширине приемного барабана (катушки).

Возвратно-поступательное движение раскладчика может осуществляться посредством приводных механизмов, имеющих вращающийся винт сдвигающейся по нему гайкой, жестко соединенной с раскладчиком, или сердцевидный кулачок сдвигающейся штангой. Винт раскладчика может иметь резьбу одного направления и в этом случае попеременно вращается то в одну, то в другую сторону. Если винт имеет резьбу в двух направлениях, то его вращение происходит только в одну сторону.

Схема механизма раскладки с винтом односторонней нарезки и зубчато-цепным приводом изображена на рис. 1.22. От вала 1 через жестко сидящие на нем шестерню 2 и звездочку 3 вращение передается шестерне 4 и звездочке 5, свободно сидящим на торцевой части винта 6. Эти шестерня и звездочка имеют зубчатое зацепление с торцевой муфтой 7, перемещающейся вдоль винта 6 на скользящей ипунке. Шестерня 4 и звездочка 5 вращаются в противоположные стороны с одинаковой частотой. Если муфта сцеплена с шестерней 4 или со звездочкой 5, происходит вращение винта 6, по которому перемещается гайка 8 с укрепленной на ней вилкой 9.

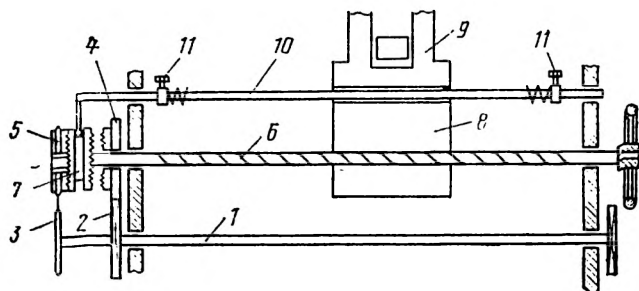


Рис. 1.22. Схема механизма раскладки с червяком односторонней нарезки и зубчато-цепным приводом.

При сцеплении со звездочкой гайка движется в одну сторону, а при сцеплении с шестерней — в другую. При помощи пальца, входящего в паз муфты, она соединяется со штангой 10, на которой укреплены ограничные упоры 11 с пружинами. Последние можно передвигать вдоль штанги в зависимости от ширины раскладки изделия на барабане (катушке). Когда гайка сжимает пружину одного из ограничительных упоров, штанга переключает сцепление муфты с шестерней.

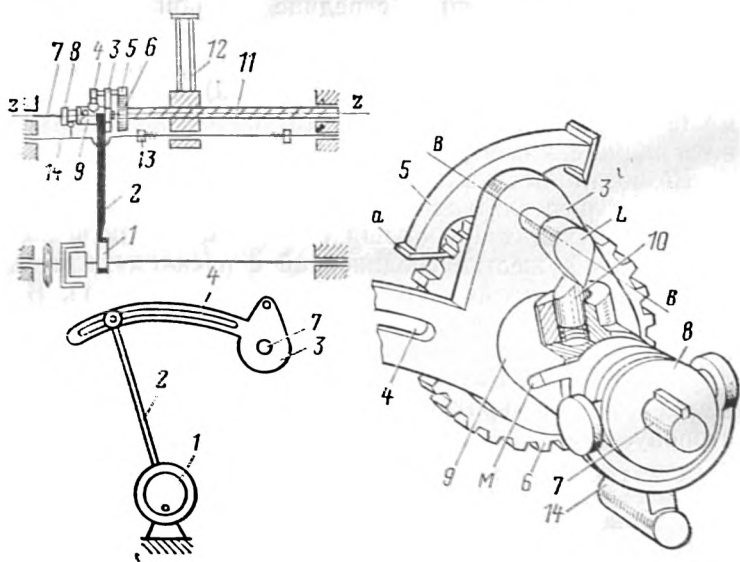


Рис. 1.23. Схема механизма раскладки с червяком односторонней нарезки и эксцентриковым приводом.

а — общая схема; б — механизм изменения направления вращения винта раскладки.

стерней или звездочкой, что изменяет направление вращения винта на противоположное.

Схема механизма раскладки с червяком односторонней нарезки и эксцентриковым приводом изображена на рис. 1.23. Эксцентрик 1 приводится во вращение от главного вала. С помощью тяги 2 вращение эксцентрика преобразуется в качательное движение звена 3 вокруг оси червяка ZZ. Амплитуду этих качаний можно изменять, сдвигая тягу 2 вдоль прорези 4 звена 3, на оси которого BB сидит двусторонняя собачка 5. Последняя сцепляется с храповым колесом 6, жестко сидящем на главном ведущем винте 11. На вспомогательном валу 7 на шпонке посажена муфта 8 с пальцами M, которые заходят в прорези патрубка 9. Патрубок закреплен на вспомогательном валу 7 так, что он может на нем поворачиваться, но не может смещаться вдоль его оси. На оси собачки 5 закреплен сухарь L, который прижимается к контакту 10, сидящему на пружине в патрубке 9. При качании вспомогательного вала 7 муфта 8 своими пальцами M придерживает патрубок 9 в одном и том же положении относительно вспомогательного вала 7 и звена 3 эксцентрика. Благодаря этому контакт 10 прижимает сухарь L все время с одной стороны, вызывая одностороннее зацепление собачки 5 и, следовательно, одностороннее вращение винта 11. На винте насажена гайка с вилкой 12, перемещаемая при вращении винта. При достижении упора, например левого 13, и нажатии на пружину с помощью штанги 14 происходит сдвиг муфты и ее пальцы M поворачивают патрубок 9 вокруг вспомогательного вала 7. Сухарь в этом случае будет прижиматься к контакту 10 другой стороной, собачка 5 будет зацепляться с храповым колесом 6 так же второй стороной. В результате вращение храповика в противоположную сторону начинает вращаться винт 11, перемещая гайку с вилкой 12 в противоположном направлении.

Схема механизма раскладки с червяком двусторонней нарезки с кривошипно-шатунным приводом изображена на рис. 1.24. От главного вала машины вращается шестерня 1, на которой сидит кривошип 2, радиус которого можно изменять при помощи болтов 3. Вращение кривошипа 2, являющегося звеном четырехшарнирного механизма, вызывает качание собачки 4, прижимающейся к храповому колесу 5. Шаг захвата зубцов колеса 5 изменяется увеличением или уменьшением радиуса кривошипа 2. Винт 6, имеющий двустороннюю нарезку, вращается все время в одну сторону. Гайка с вилкой 7, дойдя до упора, переходит с одной резьбы на противоположную.

При приеме на барабан прямоугольного провода описанные схемы механизма раскладки пригодны лишь в ограниченной степени. Провод, находясь в вилке механизма раскладки, непрерывно претерпевает изгиб по широкой стороне. Для исключения такой деформации прямоугольного провода машины для наложения изоляции снабжают приемными устройствами с неподвижным ро-

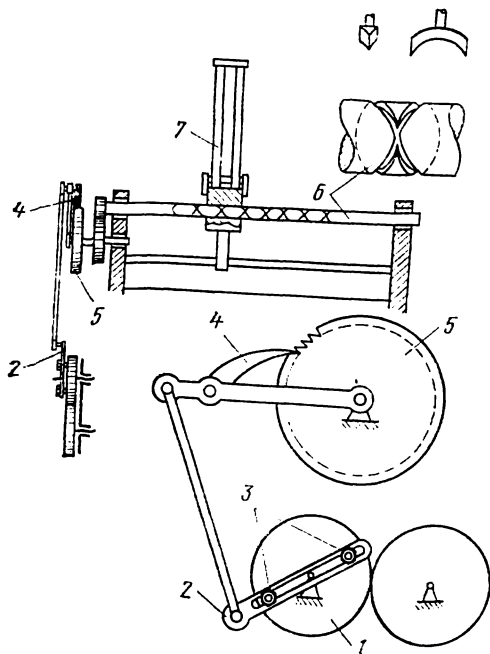


Рис. 1.24. Схема механизма раскладки с червяком двусторонней нарезки и кривошипно-шатунным приводом.

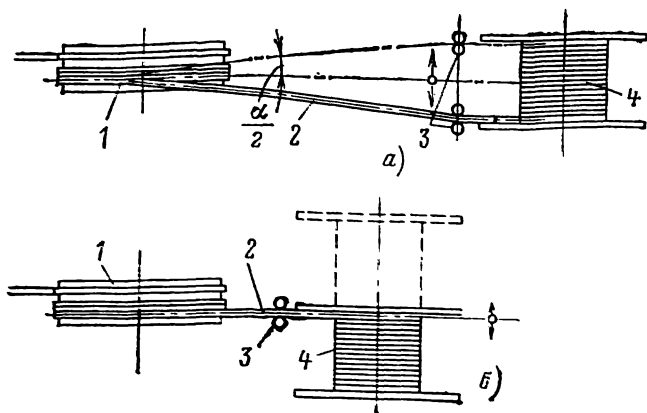


Рис. 1.25. Схема приема изделия на барабан.

*a* — при перемещающемся раскладчике; *б* — при перемещающемся приемном барабане; 1 — тяговое устройство; 2 — изделие; 3 — вилка раскладчика; 4 — приемный барабан.

ликом, заменяющим механизм раскладки, а приемному барабану (катушке) придают возвратно-поступательное движение по схеме механизма раскладки с движущейся гайкой.

Прямоугольный провод при укладке на барабан, совершающий возвратно-поступательное движение, проходит через неподвижный ролик и не претерпевает никаких изгибов, неизбежных при использовании раскладочных механизмов обычного типа. При некотором увеличении ширины приемного устройства длина машины может быть уменьшена. Пояснением могут служить схемы приема изделия на барабан при перемещающемся механизме раскладки (рис. 1.25,а) и перемещающемся приемном барабане (рис. 1.25,б). При перемещении механизма раскладки кабель в крайних положениях вилки отклоняется в точке схода с тягового колеса от первоначального направления на угол  $\alpha/2$  и изгибается у

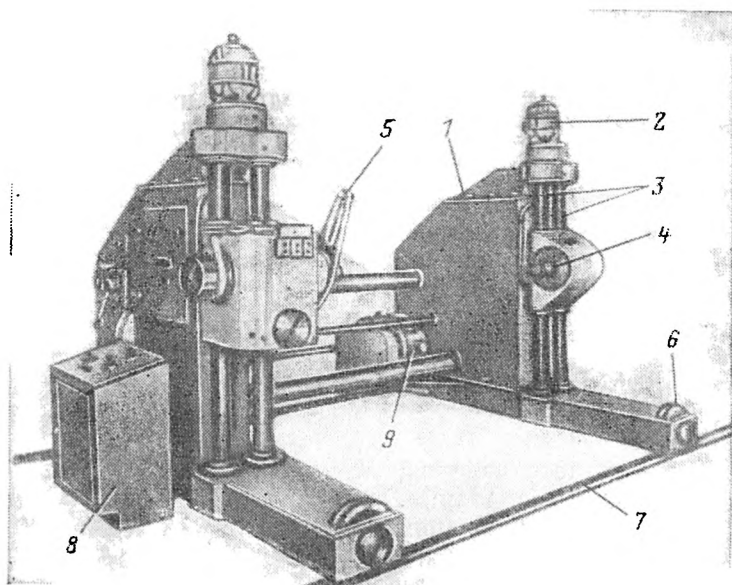


Рис. 1.26. Передвижное приемное устройство.

1 — стойки; 2 — электродвигатели привода подъема барабана; 3 — червяки подъема барабана; 4 — пинноли; 5 — рычаг с поводковым пальцем; 6 — катки; 7 — рельсы; 8 — пульт управления; 9 — электродвигатель привода приемного устройства.

вилки механизма раскладки под углом  $180^\circ - \alpha/2$ . Чтобы провод не претерпевал резких изгибов, угол  $\alpha$ , зависящий от расстояния между тяговым и приемным устройствами и ширины раскладки, должен быть небольшим. При перемещении приемного барабана угол  $\alpha = 0$ , следовательно, расстояние  $a$  может быть уменьшено.

С целью экономии площади некоторые агрегаты (например, гидравлические прессы для наложения алюминиевой оболочки) оборудуют перемещающимися приемными устройствами (рис. 1.26). Электродвигатель, электромагнитная муфта, все передачи и приемный барабан монтируются на передвижной тележке, перемещающейся по рельсам. Одновременно с вращением приемного барабана происходит возвратно-поступательное движение тележки для осуществления рядовой раскладки кабеля на барабане.

## 1.10. МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

При приеме изделия на приемный барабан (катушку) диаметр, на который производится намотка, постепенно увеличивается. Закон изменения диаметра намотки выражается следующим уравнением (рис. 1.27):

$$D_N = D_0 + 2Nd, \text{ или } R_N = R_0 + Nd \quad (1.2)$$

$$D'_N = D_N - d = D_0 + 2Nd - d = D_0 + (2N - 1)d, \quad (1.3)$$

или

$$R'_N = R_N - \frac{d}{2} = R_0 + Nd - \frac{d}{2} = R_0 + \left(N - \frac{1}{2}\right)d, \quad (1.4)$$

где  $d$  — диаметр изделия;  $N$  — число слоев, уложенных на приемный барабан;  $D_N$  — наружный диаметр  $N$ -го слоя;  $D'_N$  — средний диаметр  $N$ -го слоя;  $R_0$ ,  $R_N$  и  $R'_N$  — соответствующие радиусы.

Окружная скорость верхнего слоя изделия на приемном барабане  $v_{\text{пр}}$  равна линейной скорости  $v_{\text{л}}$  прохождения изделия через агрегат (машину)

$$v_{\text{пр}} = v'_N = \omega_N R'_N = \pi D'_N n_N = v_{\text{л}} = v_{\text{т.к}} = \pi D_{\text{т.к}} n_{\text{т.к}} = \text{const}, \quad (1.5)$$



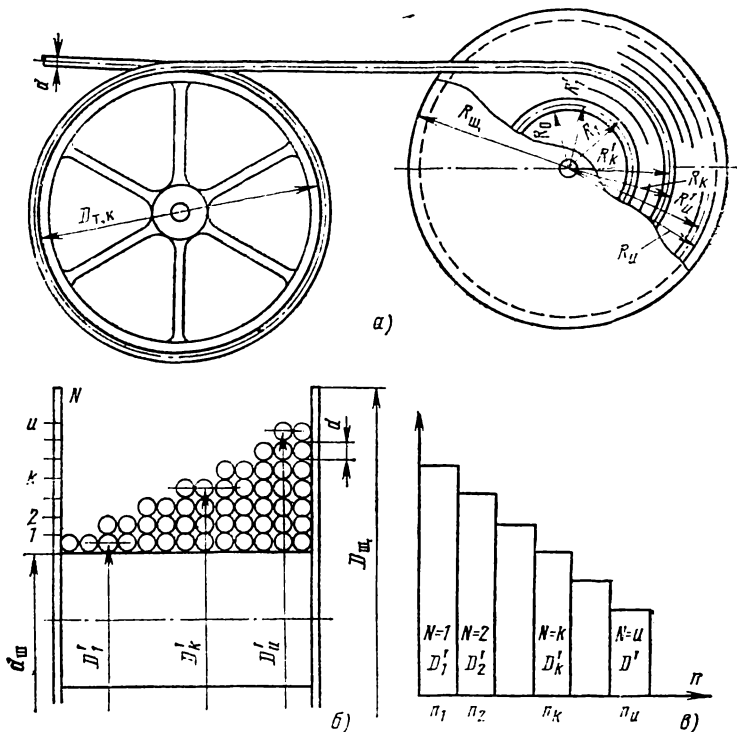


Рис. 1.27. Изменение частоты вращения приемного барабана в зависимости от числа намотанных витков изделия.

где  $\omega = 2\pi n$ , рад/мин;  $v_{т,к}$  — окружная скорость тягового колеса, м/мин.

Если окружная скорость на приемном барабане превышает линейную скорость изделия, задаваемую тяговым колесом, то это может вызвать растяжение или разрыв изделия на данном участке. Если окружная скорость на приемном барабане меньше, чем линейная скорость изделия, то происходит провисание последнего. Поэтому приемный барабан должен вращаться с переменной убывающей угловой скоростью по мере его заполнения

$$\begin{aligned} \omega_1 R'_1 = \omega_2 R'_2 = \dots = \omega_k R'_k = \dots = \\ = \omega_n R' = v = \text{const}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

или

$$\begin{aligned} \pi D'_1 n_1 &= \pi D'_2 n_2 = \dots = \pi D'_k n_k = \dots \\ &= \pi D' n = v_{\pi} = \text{const.} \end{aligned} \quad (1.7)$$

Следовательно,

$$\omega_N = \frac{v_{\pi}}{R'} = \frac{v_{\pi}}{R_0 + Nd - \frac{d}{2}} = \frac{v_{\pi}}{R_0 + \left(N - \frac{1}{2}\right) d}, \quad (1.8)$$

или

$$\begin{aligned} n_N &= \frac{\omega_N}{2\pi} = \frac{v_{\pi}}{2\pi R'_N} = \frac{v_{\pi}}{\pi D'_N} = \frac{v_{\pi}}{\pi (D_0 + 2Nd - d)} = \\ &= \frac{v_{\pi}}{\pi [D_0 + (2N - 1) d]}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Процесс намотки изделия на барабан состоит из образования  $N$ -го слоя и перехода от этого слоя к  $(N+1)$ -му. При укладке витков одного слоя частота вращения приемного барабана постоянна. При образовании следующего слоя происходит скачкообразное уменьшение частоты вращения, т. е.  $n_N = f(N)$ :

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= \frac{v_{\pi}}{\pi (D_0 + d)}; \\ n_2 &= \frac{v_{\pi}}{\pi (D_0 + 3d)}; \\ n_3 &= \frac{v_{\pi}}{\pi (D_0 + 5d)} \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

и т. д.

Укладка изделия на приемный барабан происходит по двум составляющим: по окружности цилиндра диаметром  $D'_N$  и вдоль его образующей с шагом  $h$ , приблизительно равным диаметру изделия (см. рис. 1.27, а и б):

$$h = \pi D'_N \operatorname{tg} \alpha \approx d. \quad (1.11)$$

Скорость укладки кабеля на барабан

$$v_h = h/t \approx d/t, \quad (1.12)$$

где  $t$  — время, и

$$v_{\pi} = v'_N = \omega_N R'_N = 2\pi n \frac{D'_N}{2} = \pi D'_N n_N; \quad (1.13)$$

$$v_h = v'_N \operatorname{tg} \alpha = \omega_N R'_N \operatorname{tg} \alpha = \omega_N \frac{D'_N}{2} \operatorname{tg} \alpha. \quad (1.14)$$

Подставляя в (1.14) значение  $\operatorname{tg} \alpha$  из (1.11), получаем:

$$v_h = \omega_N \frac{D'_N}{2} \frac{d}{\pi D'_N} = \omega_N \frac{d}{2\pi} = \frac{2v_N d}{D'_N \cdot 2\pi} = \frac{v_N d}{\pi} \frac{1}{D'_N}, \quad (1.15)$$

где  $v_N d / \pi$  — постоянная величина.

Скорость движения изделия при рядовой его укладке на приемном барабане обратно пропорциональна диаметру  $D'_N$ . Следовательно, для обеспечения равномерной рядовой укладки изделия на приемном барабане скорость перемещения раскладчика вдоль оси барабана также обратно пропорциональна диаметру  $D'_N$ . Регулирование угловой скорости приемного барабана и скорости перемещения раскладчика обычно производится при помощи одной общей фрикционной муфты скольжения.

Действие фрикционных муфт основано на принципе проскальзывания одной их части, вращающейся вместе с валом, приводящим в движение приемник и раскладчик, относительно другой части, вращающейся вместе с валом, приводимым в движение электродвигателем или от главного вала агрегата, или от вала тягового колеса. Муфты скольжения (рис. 1.28) могут быть дисковыми и ленточными. В дисковых муфтах передача от ведущего вала к ведомому осуществляется трением, возникающим между двумя металлическими дисками, разделенными прокладкой. Проскальзывание между дисками регулируется силой давления пружины, прижимающей диски к прокладке (рис. 1.28,а). В ленточных муфтах передача от ведущего вала к ведомому происходит за счет трения между ободом металлического шкива и ленточным бандажом. В этом случае проскальзывание ленты регулируется посредством болта, стягивающего концы ленты (рис. 1.28,б). Фрикционные механизмы применяются также в механизмах притормаживания отдающих барабанов. Изменение угловой скорости приемного барабана осуществляется механической редуccionной передачей, состоящей из многоступенчатой коробки скоростей, электрического или механического проскальзы-

вающего устройства или фрикциона (если регулирование ведется по натяжению изделия). Регулирование натяжения по стреле провеса осуществляется с помощью следящего устройства.

Механизм раскладки изделия на барабане также включает в себя многоступенчатую коробку скоростей или вариатор с широким диапазоном регулирования. Механизм раскладки связан с редукционной передачей привода барабана.

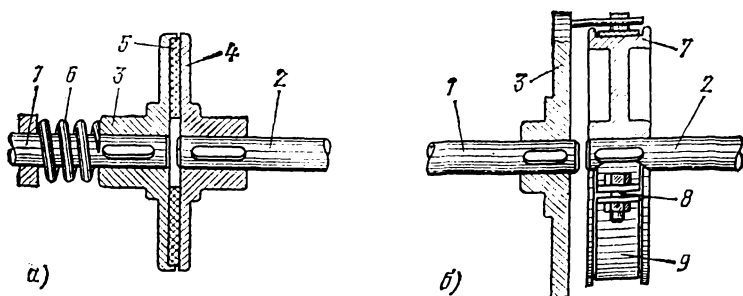


Рис. 1.28. Фрикционные муфты скольжения.

а — дисковая; б — ленточная; 1 — ведущий вал; 2 — ведомый вал; 3 — ведущий диск; 4 — ведомый диск; 5 — прокладка; 6 — пружина; 7 — ведомый шкив; 8 — стяжной болт; 9 — ленточный бандаж.

Пуск приемного устройства должен происходить одновременно с пуском агрегата. При этом не должно быть провисания или чрезмерного натяжения изделия на участке тяговое устройство — приемный барабан. Не должно быть рывка изделия при нарастании скорости приема его на барабан. При провисании изделия витки его вследствие упругости стремятся распрямиться, нарушается правильное наложение витков на барабане и сбивается раскладка, которую затем трудно восстановить. При колесном тяговом устройстве в этот же период снижается сцепление изделия с тяговым колесом и нарушается режим прохождения изделия через агрегат. В момент рывка изделия может произойти его механическое повреждение, вытяжка или затягивание витков на барабане.

Остановка приемного устройства должна происходить одновременно с остановкой агрегата, а электропривод приемного устройства должен выключаться лишь

спустя некоторое время после выключения привода агрегата. Провисания изделия при остановке не должно быть, так как при последующем пуске произойдут рывки. Если привод барабана выключается при остановке агрегата, то это выключение должно происходить с автоматической выдержкой времени с тем, чтобы изделие на участке тяговое устройство — барабан оставалось под воздействием натяжения со стороны привода еще некоторое время после полной остановки агрегата. Выдержка времени осуществляется введением в схему управления регулируемого реле времени (например, пневматического типа) с диапазоном рабочего регулирования 20—30 с. После полного отключения привода приемного устройства изделие останется натянутым, если торможение будет препятствовать барабану повернуться и ослабить натяжение. Здесь может иметь значение конструкция передачи (цепная, шестеренная, червячная) в отношении люфтов. При эксцентричном расположении осевого отверстия барабана отдача барабана может быть значительной. То же происходит и при сильно разрабатанных отверстиях.

Постоянство натяжения кабеля при возрастающем радиусе намотки его на барабан может обеспечиваться от общего привода через фрикцион с отрегулированным моментом. При типичном соотношении начального и конечного радиусов намотки 1:2 натяжение изделия уменьшается к концу намотки примерно вдвое, поскольку момент фрикциона практически не регулируется и остается постоянным в процессе намотки, а плечо, на которое действует сила натяжения изделия, возрастает к концу намотки вдвое. Так как линейная скорость изделия остается постоянной, вдвое уменьшается и угловая скорость барабана и значительно возрастают тепловые потери в фрикционе. Очевидно, что механический фрикцион не может практически обеспечить постоянство натяжения изделия при заполнении барабана. Идеальная зависимость между натяжением изделия и радиусом намотки должна была бы изображаться горизонтальной прямой, параллельной оси абсцисс, если по этой оси откладывать радиус намотки.

Поскольку при постоянной линейной скорости изделия угловая скорость барабана уменьшается пропорционально увеличению радиуса намотки, то момент привода должен меняться обратно пропорционально частоте

вращения барабана и возрастать от начального значения вдвое по мере изменения радиуса намотки от начального до конечного. При этом полезная мощность, затрачиваемая на намотку изделия при постоянной линейной скорости, остается постоянной и, следовательно, произведение момента привода на его угловую скорость также остается постоянным. Идеальная характеристика привода должна представлять собой отрезок гиперболы, у которой произведение ординаты и абсциссы для любой точки есть величина постоянная.

Фактическая работа приемного устройства соответствует отрезку гиперболической кривой между двумя абсциссами, из которых одна соответствует минимальному, а другая максимальному моменту на поводке барабана. Этот же участок заключен между двумя ординатами, одна из которых соответствует максимальной, а другая — минимальной частоте вращения барабана. При соотношении начального и конечного радиусов намотки 1:2 соотношение ординат — 2:1, а абсцисс — 1:2. Механическая характеристика автономного электропривода приемного устройства должна приближаться к гиперболической

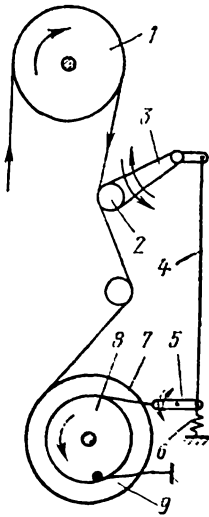


Рис. 1.29. Схема регулятора натяжения кабеля (провода), поступающего в приемное устройство.

1 — тяговое колесо; 2 — натяжной ролик; 3 — рычаг; 4 — тиг; 5 — тормозной рычаг; 6 — пружина; 7 — тормозная лента; 8 — тормозной шкив; 9 — приемная катушка.

ской характеристике на рабочем участке. Практически достаточно, чтобы это была падающая прямая или плоско-выпуклая кривая.

Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют асинхронная муфта скольжения с неавтоматическим регулированием тока возбуждения и асинхронный электродвигатель с контактными кольцами и неавтоматически регулируемым внешним сопротивлением в цепи ротора.

У приемного устройства для работы в различных диапазонах угловых скоростей приемного барабана увели-

ченного размера коробка скоростей должна иметь соотношение 1:5, позволяющее отрегулировать общее передаточное число привода в широких пределах.

Вертикальные машины для обеспечения равномерного натяжения изделия на участке между тяговым и приемным устройствами снабжают регуляторами натяжения (рис. 1.29). При чрезмерном натяжении изделия натяжной ролик 2 поворачивает рычаги 3 и 5 против часовой стрелки. Последний натягивает тормозную ленту, затормаживая приемную катушку. В результате происходит уменьшение натяжения. При ослаблении натяжения изделия под действием пружины 6 рычаги поворачиваются по часовой стрелке, в результате чего тормозная лента 7 ослабляется и приемная катушка начинает вращаться быстрее. Натяжение изделия возрастает до необходимого.

## 1.11. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Кабели (провода) изготавливают в соответствии с действующими государственными стандартами (ГОСТ), отраслевыми стандартами (ОСТ) и техническими условиями (ТУ).

На основе государственных и отраслевых стандартов и технических условий разрабатывают конструкции на все выпускаемые типы кабелей и виды исполнения. В конструкциях приводят необходимые геометрические размеры всех конструктивных элементов с допусками, требуемые материалы и расход их на 1 км кабеля, провода или шнура или на 1 т (100 кг) проводов.

На типовые технологические процессы, применяемые при производстве кабелей и проводов, разрабатывают отраслевые стандарты по единой системе технологической подготовки производства (ЕСТПП). ОСТ на типовые технологические процессы отражают достижения, которые обязательны для всех предприятий. Те из них, которые не подготовлены к внедрению ОСТ полностью, должны получать разрешение от вышестоящей организации на отсрочку внедрения. Отраслевые стандарты на типовые технологические процессы утверждаются на 5 лет, по истечении которых должны пересматриваться с учетом новых достижений в области технологии. На технологические процессы, применяемые только на одном предприятии, разрабатываются стандарты предприятия.

На каждую марку кабеля, провода или шнура, каждое сечение или диаметр и вид исполнения при использовании электронных вычислительных машин разрабатывают маршрутную карту, а для обработки на ручных вычислительных машинах составляют маршрутную карту на все сечения (диаметры) кабеля (провода, шнура) одной марки или нескольких однородных марок. В маршрутной карте приводятся все технологические процессы в последовательности их выполнения, указываются используемое технологическое оборудование, оснастка, инструмент и средства контроля. В маршрутной карте отражают также трудовые затраты на изготовление кабеля (провода). Допускается разработка маршрутных карт на отдельные технологические процессы; конечные данные из них переносят в основную маршрутную карту на определенный кабель, провод или шнур. Маршрутная карта в соответствии с ГОСТ 3.1102-74 является обязательным технологическим документом.

На основное оборудование разрабатывают технологические инструкции, содержащие кинематическую схему машины или агрегата, их описание и порядок подготовки к работе, включения машины и работы на ней, а также элементы техники безопасности. Технологическая инструкция может включать таблицы режима работы машины.

В кинематической схеме указывают частоты вращения электродвигателей, числа зубцов шестерен, в том числе сменных, передаточные числа редукторов, вариаторов и червячных пар, диаметры шкивов, а также другие необходимые данные.

Для наиболее сложных по конструкции и ответственных кабелей и проводов допускается разработка технологических инструкций на их изготовление. В этих инструкциях приводится последовательность всех технологических процессов изготовления кабеля (провода) с таблицами режимов работы на различном оборудовании, описание контроля технологических процессов и всех испытаний на соответствие кабеля (провода) требованиям ГОСТ, ОСТ и ТУ. В них указывается также способ упаковки и маркировки продукции. Обычно на изготавливаемые по технологической инструкции кабели и провода заводят сопроводительные паспорта, в которых перечисляют всех исполнителей технологических процессов и фиксируют отдельные замечания.



С целью повышения эффективности производства предъявляется требование непрерывного снижения материалоемкости, трудоемкости и себестоимости выпускаемых кабелей (проводов, шнуров).

Все вновь разрабатываемые изделия, как правило, должны иметь меньшую массу, изготавливаться с меньшей затратой трудовых ресурсов и иметь меньшую себестоимость по сравнению с заменяемыми. Помимо выбора наиболее оптимальной конструкции кабеля (провода, шнура), требующей расхода меньшего количества материалов, должны широко использоваться: уменьшенные допуски на диаметр проволоки, уплотнение токопроводящих жил, минимальные отклонения толщины изоляции, оболочки и защитных покровов от номинальных размеров, уменьшение отходов материалов при заправке машин и агрегатов, уменьшение потерь при доставке материалов, предохранение последних от загрязнения или повреждения, увеличение размеров отдающей и приемной тары с целью обеспечения длительной безостановочной работы оборудования (при этом уменьшается количество перезаправок).

Уменьшение расхода материалов, составляющего приблизительно 85% стоимости изготавливаемых изделий, способствует снижению себестоимости кабелей (проводов и шнуров). Длительная безостановочная работа технологического оборудования, позволяющая увеличить норму обслуживания машин одним рабочим, совмещение технологических процессов, механизация и автоматизация повышают производительность труда.

Основной тенденцией развития технологии является непрерывное повышение производительности труда, снижение численности работающих и эффективное использование рабочего времени.

## *Глава вторая*

# **КРУТИЛЬНЫЕ МАШИНЫ**

## **2.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КРУТИЛЬНЫХ МАШИН**

Скрутка является одним из наиболее распространенных технологических процессов кабельного производства. Из отдельных проволок скручиваются токопроводящие жилы и неизолированные провода. Из изолиро-

ванных жил скручиваются либо непосредственно кабели и провода, либо (при изготовлении кабелей связи) их составные части — группы, пучки, из которых в свою очередь скручиваются кабели.

Скрутка — это такой процесс объединения отдельных элементов (проволок, жил, групп, пучков), при котором каждый из них располагается по винтовой линии вокруг

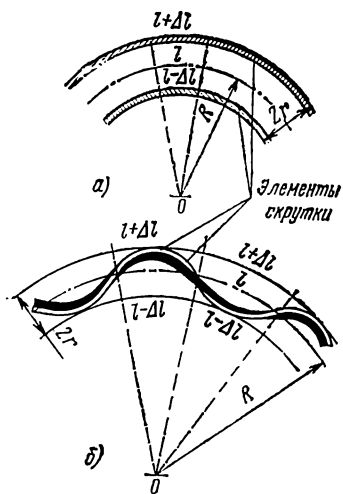


Рис. 2.1.

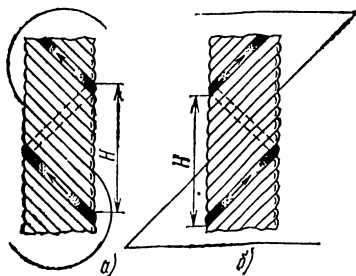


Рис. 2.2.

Рис. 2.1. Деформация элементарных групп, образующих сердечник кабеля, при его изгибе.

а — нескрученный сердечник; б — скрученный сердечник

Рис. 2.2. Направления скрутки.

а — левая скрутка; б — правая скрутка.

центральных (одного или нескольких) элементов. Каждый периферийный элемент скрутки в пространстве образует спираль. Основная цель скрутки — придать изделию (кабелю или проводу) устойчивую конструкцию и гибкость.

Необходимость совместной скрутки всех элементов жилы или кабеля иллюстрирует рис. 2.1. Если бы все элементы, образующие жилу или кабель, не скручивались, а располагались параллельно, то при изгибе нескрученного изделия диаметром  $2r$  элементы, находящиеся от центра изгиба  $O$  ближе осевой линии (длина

которой  $l$ , а ее расстояние от центра изгиба  $R$ ), должны были бы сжиматься (их длина стала бы  $l - \Delta l$ ), а элементы, удаленные от центра  $O$  более, чем осевая линия, — растягиваться и их длина стала бы  $l + \Delta l$  (рис. 2.1,а). Последнее повлекло бы за собой нежелательные деформации удаленных элементов вплоть до их разрывов. При окрутке элементов между собой расстояние каждого из них от центра изгиба периодически изменяется (рис. 2.1,б). Поэтому при изгибах изделия изменения длины каждого из элементов скрутки (естественно, кроме центрального совпадающего с осью) компенсируются на длине одного витка.

Скрутка осуществляется в результате сочетания двух движений: прямолинейного (поступательного) и вращательного. При этом вращение может производиться как по часовой стрелке, так и против нее. О направлении скрутки судят по расположению витков элементов в скрученном изделии. Скрутка называется левой, когда каждый элемент скрутки, если смотреть на него по направлению оси, идет справа — вверх — налево, и правой при траектории элемента слева — вверх — направо (рис. 2.2).

Скрутка осуществляется на крутильных машинах. Характерными для крутильных машин являются следующие два принципиальные обстоятельства. Первое — весьма широкий диапазон их габаритов — от долей метра до нескольких метров диаметром и десятков метров в длину. Это объясняется тем, что приходится скручивать как тончайшие жилы диаметром 0,15—0,20 мм, так и мощные кабели диаметром около 100 мм. Второе — исключительное многообразие конструкций машин. Последнее в свою очередь обусловлено, во-первых, возможностями осуществления скрутки различными способами, о которых будет сказано ниже, и, во-вторых, постоянными поисками путей усовершенствования этого старейшего процесса кабельного производства. Необходимость использования вращательного движения обуславливает ограниченную скорость процесса скрутки по сравнению с современными процессами, основанными только на прямолинейном поступательном движении заготовки — изделия (например, экструдированием) и, следовательно, не дает возможности резкого увеличения производительности крутильных машин, желательного для интенсификации всего кабельного производства.

Крутильная машина, как и большинство машин кабельного производства, содержит четыре основных узла: отдающее, тяговое и приемное устройства и рабочий механизм. Однако у подавляющего большинства крутильных машин рабочий механизм совмещен либо с отдающим, либо с приемным устройством.

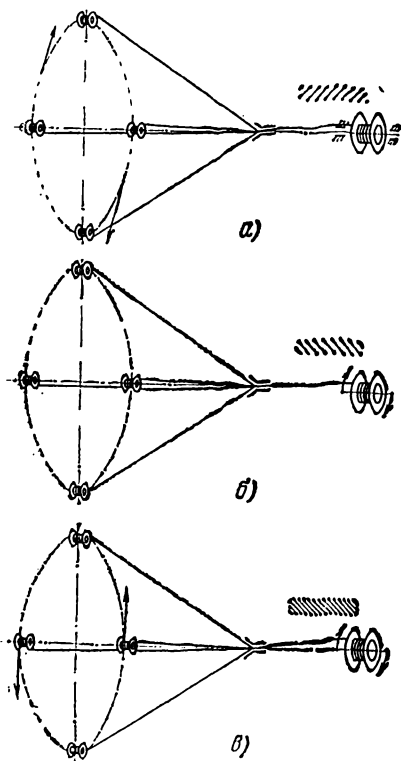


Рис. 2.3. Схема способов однонаправленной скрутки.

*а* — при вращающемся отдающем устройстве; *б* — при вращающемся приемном устройстве; *в* — при вращении отдающего и приемного устройства в разные стороны (двойная скрутка).

Для того чтобы скрутить между собой два отрезка проволоки, жилы и т. п., их надо вращать вокруг общей оси либо с одного конца, либо с другого, одновременно придавая им прямолинейное перемещение в ту или другую сторону. Скрутка на машинах, как правило, происходит в результате воздействия на вращающееся отдающее или приемное устройство пары сил, действующей в плоскости, перпендикулярной оси скручиваемого изделия (рис. 2.3).

Как видно из рис. 2.3,а, в первом случае отдающее устройство вращается по часовой стрелке, если смотреть по направлению движения, а приемное устройство неподвижно. Изделие получает левую скрутку. Во втором случае (рис. 2.3,б) по часовой стрелке вращается приемное устройство при неподвижном отдающем. Изделие получает правую скрутку. Принципиально возможно воздействовать парой сил одновременно на отдающее и приемное устройства. Если при этом оба устройства вращаются с одинаковой частотой, но в одну сторону, то, как следует из предыдущего, скрутка изделия не произойдет, ибо левая и правая скрутки взаимно аннулируются. Если же отдающее и приемное устройства вращаются в разные стороны, то на каждом участке образуется двойная скрутка. При вращении, например, согласно схеме рис. 2.3,в изделие получает двойную правую скрутку.

Исходя из рассмотренного, можно сформулировать следующие общие правила. При этом обязательное для всех случаев условие заключается в том, что наблюдатель должен всегда смотреть в направлении продольного перемещения скручиваемого участка изделия.

1. При вращении ближнего конца изделия по часовой стрелке и невращающемся дальнем его конце изделие получает *левую скрутку*.

2. При вращении дальнего конца по часовой стрелке и невращающемся ближнем его конце изделие получает *правую скрутку*.

3. Если при условии п. 1 ближний конец изделия вращается против часовой стрелки, скрутка будет *правой*.

4. Если при условии п. 2 дальний конец изделия вращается против часовой стрелки, скрутка будет *левой*.

5. При одновременном вращении обоих концов изделия в одну сторону с одинаковой частотой скрутки не происходит.

6. При одновременном вращении обоих концов изделия в разные стороны числа круток на единицу длины изделия складываются; при одинаковой частоте вращения обоих концов изделия получается так называемая *двойная скрутка*.

Итак, при вращении только одного из крутильных устройств за каждый его оборот происходит одно закручивание изделия, т. е. образуется один виток каждого из элементов скрутки. При вращении обоих устройств в

разные стороны с одинаковой частотой за один их оборот происходят два закручивания изделия, т. е. образуются два витка каждого из элементов скрутки.

Во всех рассмотренных вариантах крутильное устройство совмещалось либо с отдающим, либо с приемным,

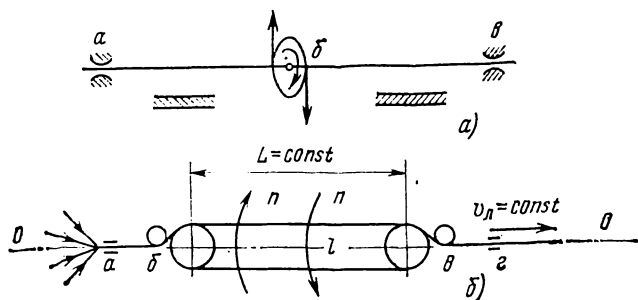


Рис. 2.4. Схемы процессов мнимой (а) и действительной (б) разнонаправленной скрутки.

либо одновременно с обоими. При этом достигалось действительное результирующее кручение изделия.

В конструкциях новейших машин используется не совмещенный, а самостоятельный крутильный узел, расположенный, естественно, между отдающим и приемным устройствами. При этом в зависимости от принципа его действия возможны или действительная, или так называемая мнимая скрутка.

Мнимая скрутка происходит в том случае, если пару сил приложить к изделию на участке между зажимами  $a$  и  $b$ , в которых оно закреплено (рис. 2.4, а) или через которые оно может перемещаться. Если смотреть от плоскости скрутки вдоль изделия на каждый из зажимов, то окажется, что на участках  $ab$  и  $bb$  получают разные направления скрутки при равном числе образовавшихся витков. Если изделие закреплено в зажимах  $a$  и  $b$ , то после прекращения действия пары сил она раскрутится. При перемещении изделия, выходит ли оно из зажима  $a$ , двигаясь справа налево, или из зажима  $b$ , двигаясь слева направо, оно окажется нескрученным, так как в точке  $b$  направление скрутки изменяется на противоположное.

Однако оказалось возможным использовать принцип мнимого кручения для получения скрученного изделия, выходящего через один из зажимов, например *в*. Для этого между неподвижными зажимами помещают реверсивно вращающееся крутильное устройство, в пределах  $L = \text{const}$  которого может находиться определенная длина скручиваемого изделия  $l = nL$ , где  $n$  — число витков изделия на устройстве  $L$ . Подобное крутильное устройство поэтому называется накопителем (рис. 2.4,б). Пусть накопитель вращается по часовой стрелке, тогда на участке *аб* скрутка будет правая; постепенно изделие с правой скруткой заполнит накопитель *бв* емкостью  $l$ . В момент, когда головная часть изделия выйдет из накопителя в точке *в*, накопитель реверсируется и начинает вращаться против часовой стрелки. Изделие, проходящее участок *вг* и имеющее уже правую скрутку, дополнительно закручивается по-прежнему в правую сторону (согласно вышеизложенным правилам). При указанном реверсировании накопителя направление скрутки на участке *аб* изменяется на левое и по мере выхода из накопителя изделия правой скрутки он заполняется изделием левой скрутки. Когда накопитель полностью заполнится изделием левой скрутки, он снова реверсируется и т. д. Таким образом, процесс может продолжаться непрерывно с образованием попеременно участков левой и правой (в обоих случаях двойной) скрутки длиной  $l$ .

Машины, в которых вокруг оси изделий вращается отдающее или приемное устройство (или одновременно оба устройства, но в разные стороны), являются машинами однонаправленной скрутки. Это — классический тип машин, охватывающий практически подавляющее большинство конструктивных вариантов. Поэтому машины однонаправленной скрутки называют просто крутильными.

Машины, в которых отдающее и приемное устройства неподвижны, а вокруг оси скрутки вращается самостоятельный крутильный узел, являются машинами разнонаправленной скрутки. Часто их называют машинами SZ-скрутки, так как направление левой скрутки совпадает с направлением центральной части латинской буквы *S*, а правой скрутки с направлением центральной части буквы *Z* (см. рис. 2.2).

Однонаправленную двойную скрутку можно получить

и при такой схеме, когда при неизменном направлении вращения изделия реверсируется направление его прямолинейного поступательного движения. Если в схемах рис. 2.3 развернуть отдающее или приемное устройство на  $180^\circ$ , сделать их неподвижными но вращать вокруг них с помощью легкой рамки само скручиваемое изделие, то оно за каждый оборот рамки скрутится дважды. Рассмотрим схему на рис. 2.5,а при условии, что рамка

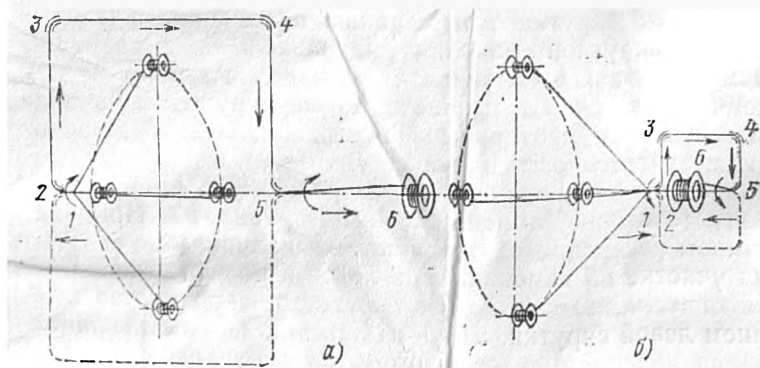


Рис. 2.5. Схема способов однонаправленной двойной скрутки при вращении крутильной рамки вокруг отдающего (а) или приемного (б) устройства.

вращается вокруг отдающего устройства против часовой стрелки, если смотреть по направлению от отдающего устройства к приемнику. Начальное направление движения изделия справа налево — от 1 до 2. Согласно второму правилу (по часовой стрелке вращается дальний, если смотреть по направлению движения изделия, его конец) на участке 1—2 изделие скручивается вначале в правом направлении. Двигаясь по рамке, в точке 3 оно изменяет свое направление на противоположное и теперь уже перемещается слева направо. На участке 5—6 вращается уже не дальний, а ближний конец изделия (по-прежнему надо смотреть в направлении его движения), но при этом уже не по часовой стрелке, а против нее. Тогда согласно третьему правилу на участке 5—6 изделие скручивается вторично и снова в правом направлении. За один оборот крутильной рамки происходит двойная скрутка изделия



Аналогичен механизм действия схемы на рис. 2.5,б. Здесь сначала вращается в одном направлении дальний конец изделия, движущегося слева направо, а затем ближний конец (причем в противоположном направлении изделия, изменившего свое направление на обратное в точке 5).

В зависимости от постоянного направления вращения крутильной рамки — по часовой или против часовой стрелки — в каждой из схем осуществляется либо правая, либо левая двойная скрутка.

## 2.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СКРУТКИ

Основным параметром, характеризующим процесс скрутки, является шаг скрутки. К числу вспомогательных параметров относятся: кратность шага скрутки, угол скрутки, а также модуль скрутки.

Под шагом скрутки  $H$  понимается расстояние по длине скручиваемого изделия (жилы, группы, пучка, кабельного сердечника), которое соответствует одному полному обороту вокруг него любого из элементов скрутки, например отдельной проволоки, жилы, группы или пучка (см. рис. 2.2). Иными словами, при данном диаметре скручиваемого изделия шаг скрутки характеризует степень крутизны, с которой производится скрутка. Чем скрутка круче, тем меньше для изделия одного и того же диаметра ее шаг, и наоборот. Шаг скрутки обычно выражается в миллиметрах.

В технологической практике удобнее пользоваться не шагом скрутки в миллиметрах, а безразмерным отношением шага скрутки к диаметру окружности скручиваемого изделия в целом или рассматриваемого повива элементов скрутки  $D$ . Указанное отношение  $H/D$  носит название кратности шага скрутки и обозначается буквой  $m$ . Применяемый иногда термин «коэффициент скрутки» характеризует совершенно иные отношения (например, между диаметром группы и диаметром изолированной жилы или диаметром скрученного сердечника и диаметром изолированной жилы или диаметром скрученного сердечника и диаметром группы) и используется в теории конструктивного расчета кабелей связи.

Различают теоретическое и практическое значения кратности шага скрутки. Первое получается, если шаг

скрутки  $H$  относить к диаметру окружности  $D_{\text{ц}}=D_0+d$ , проходящей по центрам элементов диаметром  $d$ , составляющих скручиваемый повив (рис. 2.6). Теоретически

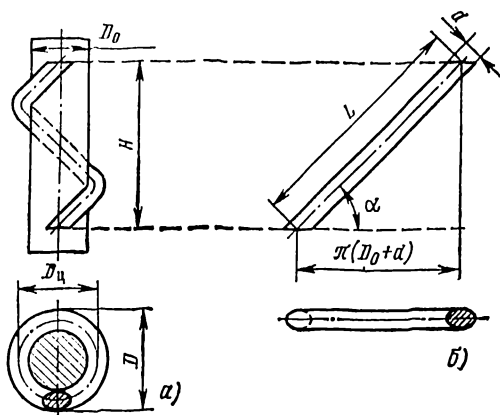


Рис. 2.6. К определению кратности шага скрутки.

$a$  — расположение витка одной из проволок (жил) в повиве на длине шага скрутки;  $b$  — развертка на плоскости одного витка проволоки (жилы);  $H$  — шаг скрутки;  $L$  — длина витка;  $d$  — диаметр проволоки (изолированной жилы и т. п.);  $D_0$  — диаметр центрального цилиндра, на который накладывается данный повив проволоки (жил);  $D_{\text{ц}}$  — диаметр окружности, проходящей по центрам проволок (жил) повива;  $D$  — наружный диаметр повива;  $\alpha$  — угол подъема цилиндрической винтовой линии, образуемой каждой проволокой (жил) в повиве, или угол скрутки.

подобное определение более строго. Однако практически удобнее пользоваться наружным диаметром данного повива  $D$ , который легко измерить. При этом  $D=D_{\text{ц}}+d=D_0+2d$ .

Таким образом, теоретическая и практическая кратности шага скрутки

$$m_{\text{т}}=H/D_{\text{ц}} \text{ и } m_{\text{пр}}=m=H/D. \quad (2.1)$$

Из рассмотрения рис. 2.6 следует, что

$$\text{tg } \alpha = H/\pi D_{\text{ц}} \text{ или } H = \pi D_{\text{ц}} \text{tg } \alpha. \quad (2.2)$$

Сопоставляя уравнения (2.1) и (2.2), получаем:

$$\text{tg } \alpha = m_{\text{т}}/\pi \text{ или } m_{\text{т}} = \pi \text{tg } \alpha. \quad (2.3)$$

Действительно, кратность шага скрутки, зависящая от диаметра скручиваемого изделия, дает более объективное и наглядное представление о степени крутизны

скрутки, чем абсолютные значения шага скрутки, взятые безотносительно к размерам изделия. Убедимся в этом на простом примере. Предположим, что однополюсный кабель *A* с наружным диаметром 10 мм скручен с шагом 250 мм, а другой аналогичный кабель *B* с наружным диаметром 15 мм скручен с шагом 300 мм. В каком кабеле крутизна скрутки больше? На первый взгляд может показаться, что в кабеле *A*, так как шаг его скрутки меньше. Однако следует учитывать полуторакратное различие диаметров кабелей. При сравнении практических кратностей шагов скрутки обоих кабелей получается:

$$m_1 = H_1 / D_1 = 250 / 10 = 25$$

и

$$m_2 = H_2 / D_2 = 300 / 15 = 20,$$

т. е. оказывается, что кабель *B* скручен с меньшей кратностью шага скрутки и, следовательно, имеет большую крутизну скрутки и большую гибкость.

Согласно рис. 2.6,б под углом скрутки  $\alpha$  понимается острый угол между нормалью к оси скручиваемого изделия и осью развертки на плоскость элемента скрутки (провода, жилы и т. д.).

Установим зависимость между шагом скрутки изделия *H* и основными параметрами, характеризующими работу крутильной машины: ее линейной скоростью  $v_{л}$  и частотой вращения крутильного устройства (или устройств)  $n_{крут}$ . Согласно определению шаг скрутки равен длине изделия, прошедшего через машину за время *t*, в течение которого ее крутильное устройство совершит полный оборот, образуя при этом один спиральный виток элемента скрутки. Если взять единицу времени в 1 мин, то получают соответственно линейная скорость, которая выражается обычно в метрах в минуту, и частота вращения в оборотах в минуту. Так как шаг скрутки принято выражать в миллиметрах, то искомая зависимость примет вид:

$$H = v_{л} \cdot 1000 / n_{крут}. \quad (2.4)$$

Модуль скрутки *M* характеризует число витков элемента скрутки, приходящееся на единицу длины скрученного изделия, или «число круток на единицу длины» ( $K/l$ ,  $m^{-1}$ ). Модуль скрутки соответствует отношению числа оборотов, совершаемых вращающимся концом

изделия в единицу времени (т. е. в простейшем случае  $n_{\text{крут}}$ ), к его длине, прошедшей через крутильное устройство также в единицу времени (т. е. к линейной скорости прохождения изделия через машину  $v_{\text{л}}$ ):

$$M = n_{\text{крут}} / v_{\text{л}}. \quad (2.5)$$

Согласно сделанным определениям модуль скрутки — величина, физически обратная шагу скрутки ( $M = 1/H$ ). С учетом различия в единицах обеих величин ( $H$  — мм,  $M$  — м<sup>-1</sup>) зависимость между ними выражается

$$\left. \begin{aligned} M &= 1000/H, \\ \text{или} \quad H &= 1000/M. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Понятием модуля скрутки удобно пользоваться при рассмотрении различного рода машин разнонаправленной скрутки, а также машин многократной однонаправленной скрутки, в частности двойной, применительно к схеме рис. 2.3,в, если оба крутильных устройства — отдающее и приемное — вращаются с различными частотами.

Следует отметить, что соотношение (2.4) справедливо для простейших машин одинарной однонаправленной скрутки, работающих по схемам рис. 2.3,а и б. Для машин с более сложными схемами, например согласно рис. 2.5,а и б, соответствующие зависимости будут выводиться по мере рассмотрения устройства этих машин.

### 2.3. МАШИНЫ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ СКРУТКИ

В зависимости от того, какой из узлов машины вращается относительно оси скрутки, различаются четыре базовых типа крутильных машин: с крутильно-отдающим устройством; с крутильно-приемным устройством; с рамкой, вращающейся вокруг отдающего устройства; с рамкой, вращающейся вокруг приемного устройства.

Машины всех четырех типов в зависимости от расположения вращающегося узла можно разделить на два рода (табл. 2.1). К первому относятся машины, в которых крутильная часть пространственно совмещена с отдающим устройством и либо составляет с ним целое (крутильно-отдающее устройство, см. рис. 2.3,а), либо вращается вокруг него (крутильная рамка, см. рис. 2.5,а).

В этих машинах тяговое и приемное устройства неподвижны относительно оси скрутки. При этом следует иметь в виду, что во многих машинах 1-го типа наряду с вращающимся отдающим устройством имеется одна неподвижная независимая выносная секция отдающего устройства, с которой сходит заготовка (одна или даже несколько), поступающая (ие) в центр скручиваемого изделия. Аналогичная независимая секция также может быть в некоторых машинах 3-го типа; в этом случае она располагается вне крутильной рамки.

Таблица 2.1

**Классификация однородных машин однонаправленной скрутки**

Группа машин	Род машин	
	первый — крутильное устройство пространственно совмещено с отдающим	второй — крутильное устройство пространственно совмещено с приемным
Первая — с крутильно-несущим устройством (инерционные машины)	Тип 1-й — с крутильно-отдающим устройством	Тип 2-й — с крутильно-приемным устройством
Вторая — с крутильной рамкой (рамочные безынерционные машины)	Тип 3-й — с рамкой, вращающейся вокруг отдающего устройства	Тип 4-й — с рамкой, вращающейся вокруг приемного устройства

В машинах второго рода отдающее устройство неподвижно, а крутильный механизм пространственно совмещен с приемным устройством и либо составляет с ним одно целое (крутильно-приемное устройство, см. рис. 2.3,б), либо вращается вокруг него (крутильная рамка, см. рис. 2.5,б).

Четыре базовых типа машин можно группировать и по другому признаку — в зависимости от несущей функции крутильного устройства. Если оно несет массу всех отдающих катушек с подвергающимися скрутке заготовками или приемной тары со скручиваемым изделием, т. е. совмещено соответственно с отдающим или приемным устройством, то машины образуют первую группу крутильного оборудования — с вращающимся несущим устройством. В эту группу входят, следовательно, ма-

шины с крутильно-отдающим (1-й тип) и с крутильно-приемным (2-й тип) устройствами. Подобные машины (см. рис. 2.3, а и б) являются инерционными.

Во вторую группу входят все машины с вращающейся крутильной рамкой, т. е. 3-го и 4-го типов (см. рис. 2.5, а и б). В общем случае их называют рамочными. В отличие от машин с крутильно-несущим устройством рамочные машины, в которых масса отдающей или приемной тары неподвижна относительно оси скрутки, а вращается лишь легкая рамка, называют безынерционными. При этом крутильная рамка вращает только тот участок скручиваемого изделия, которое в данный момент времени находится в пределах контура самой рамки.

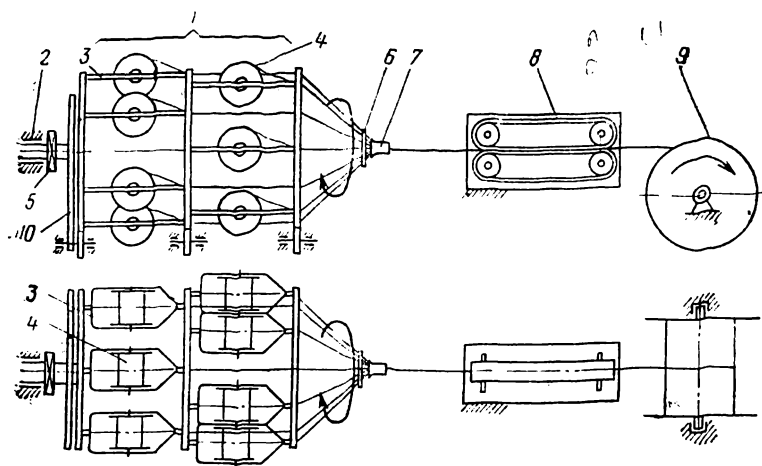


Рис. 2.7. Клетьевая горизонтальная крутильная машина.

**Клетьевые крутильные машины.** Крутильная клеть — цилиндрическая 1 (рис. 2.7) или коническая, часто называемая также фонарем, состоит из нескольких параллельно расположенных металлических дисков, жестко укрепленных на полом металлическом валу 2, проходящем через их центр. Между дисками в подшипниках установлены люльки 3 для отдающих катушек (или барабанов) 4, число которых может достигать нескольких десятков в зависимости от назначения машины. Конец

вала посажен в подшипник, расположенный в укрепленной на фундаменте опорной стойке. На этом же конце вала закреплена приводная шестерня 5, служащая для передачи вращения клетки. Каждый диск покоится на системе опорных роликов.

Часть клетки между двумя соседними дисками носит название секции. Отдающие катушки в смежных секциях несколько смещены по окружности относительно друг друга. Сходящие с отдающих катушек заготовки проходят через полые оси люлек, вставленные в равномерно распределенные отверстия в переднем диске соответствующей секции, и далее мимо люлек с отдающими катушками следующей секции поступают к выходному концу клетки.

На выходном конце центрального вала имеется распределительная розетка 6, обеспечивающая правильное взаимное расположение скручиваемых заготовок (проволок, жил, элементарных групп) перед входом их в калибр 7. Тяговое и приемное устройства 8 и 9 применяются стандартных типов (см. § 1.6 и 1.8).

В подавляющем большинстве крутильных клеток люльки для отдающих катушек связаны с несущими их дисками шарнирно. Оси отдающих катушек (барабанов) перпендикулярны оси скручиваемого изделия. Эксцентриковое кольцо 10 служит для осуществления открутки люлек с катушками (см. § 2.8).

Отдающая катушка устанавливается в люльке на одной сплошной оси или на двух выдвижных цилиндрических полуосях (пинолях). Ось закрепляется в люльке замком. Торможение каждой отдающей катушки производится тормозным металлическим шкивом с наложенной на него тормозной металлической лентой (или тросом). Тормозной шкив может крепиться либо на щеке катушки, либо на ее оси, либо на внутренней боковой стороне люльки. Наиболее совершенным является последний вариант, так как в этом случае не требуется настраивать тормоз при каждой перезаправке отдающей катушки. Оба конца тормозной ленты связаны через пружины с натяжным регулируемым приспособлением типа винта с гайкой, жестко закрепленным на боковой стороне люльки. Для контроля тормозного усилия и создания равномерного натяжения всех скручиваемых элементов тормозное приспособление иногда снабжается динамометром. Тормозной шкив сочленяется с отдающей

катушкой посредством специального пальца, входящего в отверстие, имеющееся в щеке катушки.

Имеются также машины, в которых люльки жестко связаны с крутильной клетью. При этом оси отдающих катушек могут быть как перпендикулярны, так и параллельны оси скрутки. Такие машины называются клетьевыми — жесткорамными.

**Дисковые крутильные машины.** Крутильный диск 1 насажен на полый вал 2 с приводной шестерней 3 на входном и распределительной розеткой 5 на выходном конце (рис. 2.8). Крепление дискового крутильного

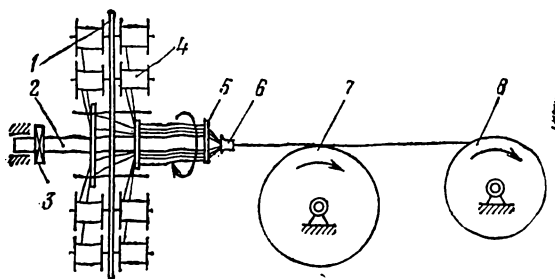


Рис. 2.8. Дисковая горизонтальная крутильная машина.

устройства на опорной стойке и на опорных роликах аналогично креплению крутильной клетки. В отличие от клетьевых машин в подавляющем большинстве дисковых машин отдающие катушки 4 жестко связаны с несущими их (одним или несколькими) дисками. В этом отношении дисковые машины, как правило, подобны жесткорамным клетьевым машинам. В то же время к дисковым машинам относят и такие, в которых осуществляется шарнирная связь люлек с отдающими катушками с несущим их диском (например, вертикальную для скрутки четверок). Позиции 6—8 на рисунке — калибр, тяговое и приемное устройства.

Машины с крутильно-отдающим устройством могут содержать однокрутильное устройство (одноклетьевые, однодисковые) или несколько, расположенных последовательно (многоклетьевые, многодисковые). Машины с крутильно-отдающим устройством появились раньше других и до сего времени широко распространены. Ос-



новное их достоинство состоит в возможности правильной скрутки многоповивных изделий с чередованием направлений смежных повивов. Последовательно расположенные крутильные устройства вращаются независимо одно от другого, причем смежные — в разные стороны. Так, для скрутки многопарных городских телефонных кабелей применяются машины с числом клетей или дисков до 8—10. Достоинством машин с крутильно-отдающим устройством являются также не связанные с габаритами крутильного устройства и, следовательно, неограниченные размеры приемной тары, простота и быстрота перезаправки приемного устройства, возможность использования непрерывного сдвоенного приемника, в том числе контейнерного типа. Основные недостатки машин: ограниченность размеров отдающей тары, сложность и длительность перезаправки отдающего устройства.

Схема машины с крутильно-приемным устройством показана на рис. 2.9. Несущий каркас, в котором помещается приемный барабан с раскладчиком, чаще всего (независимо от размеров) именуется люлькой, так как напоминает по форме люльку для отдающих катушек в машинах с крутильно-отдающим устройством. Прежде было принято характерной особенностью таких машин считать вращение тягового устройства вокруг оси скрутки. Однако правильнее относить признак обязательного вращения к приемному устройству в целом. Тяговое устройство должно также вращаться вокруг оси скрутки, причем синхронно с приемным устройством. С этой целью опорный каркас тягового устройства, как правило, механически жестко связывается с вращающейся люлькой приемного устройства, будучи расположенным внутри или вне ее. При этом следует различать вращение всего приемного (или тягового) устройства относительно оси скрутки и вращение приемного барабана (или тягового колеса) вокруг собственной оси. Приемный барабан (а также тяговое устройство колесного типа) большинства подобных машин вращается, следовательно, в двух взаимно перпендикулярных направлениях: вокруг собственной оси и вокруг оси скрутки.

Преимущества машин с крутильно-приемным устройством: неограниченность размеров отдающей тары, удобство перезаправки неподвижного отдающего устройства, возможность использования сдвоенного отдатчика либо непрерывного действия, либо допускающего вы-

полнение большей части подготовительных ручных операций по перезаправке отдающих катушек одновременно с процессом скрутки, следовательно, без потери времени. Последнее особенно существенно при скрутке изделия из большого количества элементов (проволок, изолированных жил, пар или четверок). Недостатки подоб-

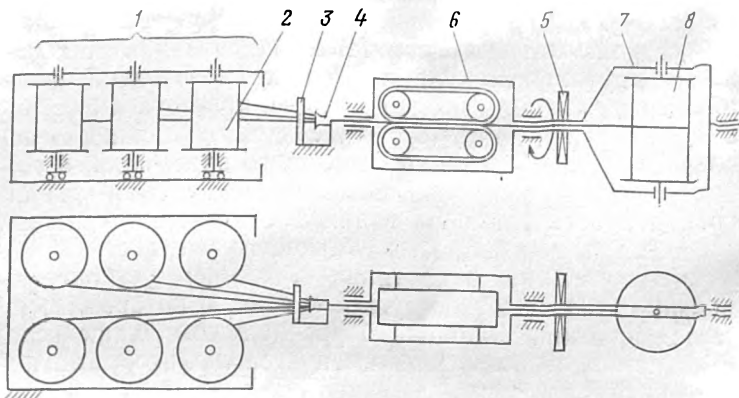


Рис. 2.9. Машина с крутильно-приемным устройством (горизонтальная).

1 — неподвижное отдающее устройство; 2 — отдающие катушки; 3 — распределительная розетка; 4 — калибр; 5 — приводная шестерня; 6 — вращающееся тяговое устройство; 7 — вращающееся приемное устройство; 8 — приемный (ая) барабан (катушка).

ных машин: усложненность привода и неудобство перезаправки приемного устройства, ограниченность размеров приемной тары.

Машины с крутильно-приемным устройством также образуют широкий класс машин, которые иногда без достаточных на то оснований именуют универсальными крутильными машинами. На них можно скручивать и многоповивные кабели (даже с искусственным разделением повивов), но в отличие от машин с крутильно-отдающим устройством скрутка производится только в одну сторону без чередования направлений смежных повивов, что, конечно, ограничивает область использования машин с крутильно-приемным устройством.

На обоих типах машин с крутильно-несущим устройством можно осуществлять скрутку с откруткой. Машинам этой группы свойствен общий недостаток, связанный с их инерционностью, обусловленной наличием относи-

тельно больших вращающихся масс. Частоты вращения всех этих машин весьма ограничены, уменьшаются по мере увеличения габаритов и масс соответственно отдающей или приемной тары и даже в наиболее совершенных конструкциях не превышают 200—250 об/мин.

Всем **рамочным машинам** присущи два общих преимущества, принципиально отличающих их от машин с крутильно-несущим устройством. Первое — быстротходность, обусловленная отсутствием тяжелых вращающихся масс. Частота вращения относительно легкой «безынерционной» крутильной рамки ограничивается лишь ее конструктивной прочностью, совершенством формы и степенью балансировки и достигает нескольких тысяч оборотов в минуту. Второе преимущество заключается в способности производить двойную скрутку изделия за один оборот крутильной рамки (согласно схемам рис. 2.5). Следует твердо уяснить, что последнее возможно при обязательном условии, что направления поступательного прямолинейного движения скручиваемого изделия при входе на рамку и сходе с нее взаимно противоположны. В тех машинах, в которых подобное реверсирование движущегося по рамке изделия не происходит, за каждый оборот рамки осуществляется только одно кручение. В зависимости от того, обеспечивают ли конструкции рамочных машин возможность использования указанного свойства, их делят на машины одинарной скрутки и машины двойной скрутки.

На рис. 2.10 показаны схемы крутильных машин с рамкой, вращающейся вокруг отдающего устройства. Конструктивно крутильную рамку выполняют в двух вариантах: 1) в виде литого или сварного полого цилиндра, сплошного или составного (из нескольких последовательных шарнирно-сочлененных секций) — с вырезами для установки отдающих катушек при их перезаправке, имеющего внутри опорные диски и с обоих концов переходящего в конусы (цилиндрические рамки — рис. 2.10,а); 2) из сплошных или полых (трубчатых) стержней — двух или нескольких, равномерно распределенных по окружности (с целью лучшей балансировки) и жестко связанных между собой (стержневые рамки — рис. 2.10,б).

Машины одинарной скрутки с узкой длинной обтекаемой формы рамкой (любого вида), вращающейся вокруг отдающего устройства, принято называть с и г а

рообразными, чаще сигарными или просто сигарами. Из всех машин однонаправленной скрутки сигарные характеризуются наибольшими частотами вращения крутильного узла. Трубочатое или стержневое тело сигары заканчивается с обеих сторон капсулами. На вход-

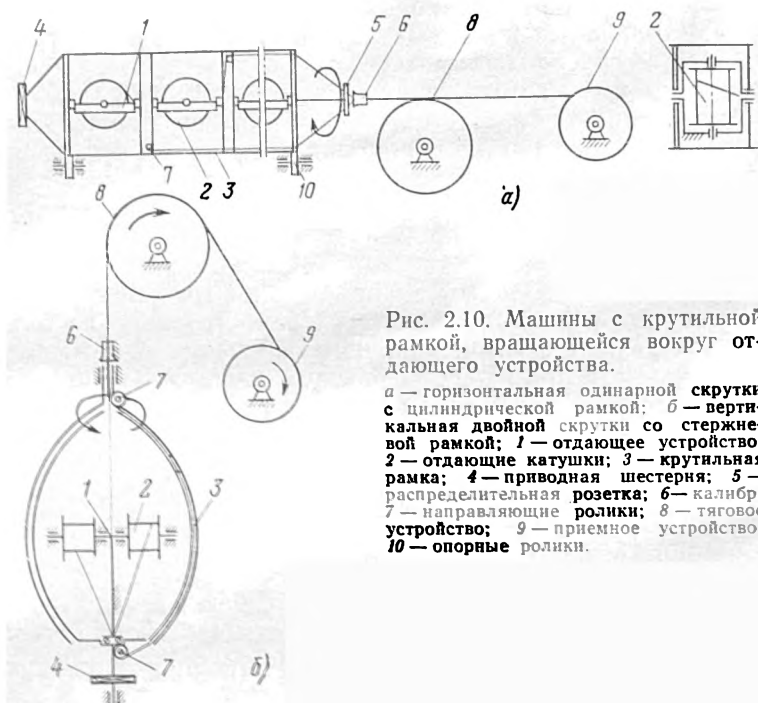


Рис. 2.10. Машинны с крутильной рамкой, вращающейся вокруг отдающего устройства.

*а* — горизонтальная одинарной скрутки с цилиндрической рамкой; *б* — вертикальная двойной скрутки со стержневой рамкой; *1* — отдающее устройство; *2* — отдающие катушки; *3* — крутильная рамка; *4* — приводная шестерня; *5* — распределительная розетка; *6* — калибр; *7* — направляющие ролики; *8* — тяговое устройство; *9* — приемное устройство; *10* — опорные ролики.

ном конусе закреплена приводная шестерня. Выходный конус заканчивается распределительной розеткой. Тело сигары поддерживается системой опорных роликов.

Крутильное устройство сигарного типа может состоять из нескольких шарнирно-сочлененных между собой цилиндров, так как крутильные цилиндры большой длины, рассчитанные на значительное количество катушек, очень сложно балансировать. Они прогибаются по мере эксплуатации, вследствие чего опорные ролики и крутильные устройства изнашиваются. Устройства же, состоящие из нескольких сочлененных коротких цилиндров, обладают более жесткой и устойчивой конфигура-

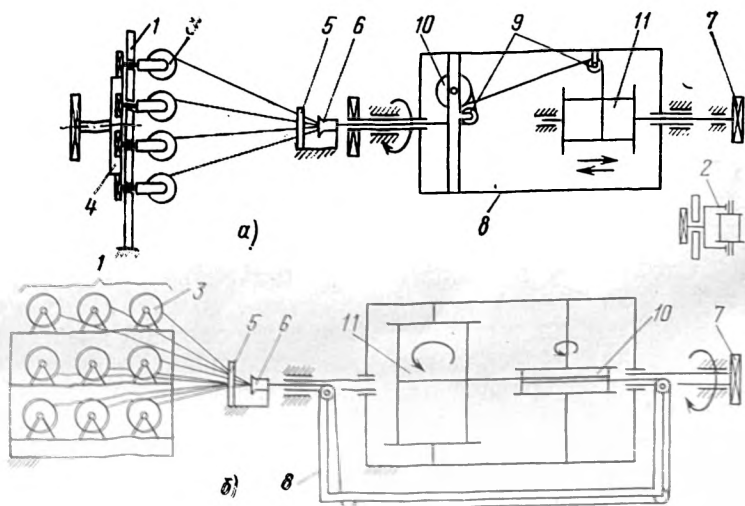
цией, не требуют сложной балансировки и, следовательно, допускают большую частоту вращения.

На внутренней поверхности крутильного цилиндра укреплено несколько пар (по числу отдающих катушек) поперечно расположенных опорных сплошных дисков или крестовин. Задняя и передняя цапфы люлек с отдающими катушками свободно расположены в подшипниках, установленных в центре этих вращающихся перегородок. Люльки сконструированы так, что центр тяжести их вместе с отдающими катушками оказывается ниже геометрической оси цилиндра, поэтому при вращении последнего отдающее устройство не увлекается им и не участвует во вращательном движении, а остается неподвижным, лишь слегка покачиваясь под воздействием сил трения.

Сходящие с отдающих катушек скручиваемые проволоки (или жилы) проходят сквозь полую переднюю цапфу люльки через центр передней опорной крестовины (диска) и посредством направляющих роликов выводятся к внутренней или внешней стороне боковой поверхности цилиндра. Проходя вдоль цилиндра к переднему конусу, проволоки подводятся к распределительной розетке. Скрутка в данном случае осуществляется благодаря тому, что вращающийся цилиндр одновременно вращает проходящие вдоль него проволоки вокруг оси скручиваемой жилы. Наиболее распространены сигары на 6 и 12 катушек, но могут быть на 18 катушек и более. Люльки с отдающими катушками всегда расположены последовательно в один ряд по длине цилиндра. Отдающие катушки могут устанавливаться в закрытых и открытых люльках, подобных люлькам клетьевых крутильных устройств, на осях или в пинолях. Оси отдающих катушек, как правило, перпендикулярны оси вращения цилиндра и располагаются чаще всего в горизонтальной плоскости, но могут быть и расположены вертикально. В последнем случае оси консольные.

Отличием сигар от всех прочих рамочных машин является возможность накладывать повив на центральную заготовку любого размера, отдающая катушка с которой располагается при этом вне пределов крутильной рамки, на независимом отдающем устройстве. В клетьевых и дисковых машинах центральная заготовка с отдающей катушки (или барабана), установленной вне клетки или диска, позади их, на выносной неподвижной секции про-

ходит непосредственно внутри полого вала к распределительной розетке. В крутильных устройствах цилиндрического типа центральный полый вал отсутствует. Поэтому в центр скручиваемого изделия направляется проволока с ближайшей к переднему конусу отдающей катушки. Проволока же (или заготовка) с отдающей



**Рис. 2.11.** Машины с рамкой, вращающейся вокруг приемного устройства.

*а* — одной скрутки с откруткой; *б* — двойной скрутки без открутки.  
*1* — отдающее устройство; *2* — люлька для отдающей катушки; *3* — отдающая катушка; *4* — приспособление для открутки; *5* — распределительная розетка; *6* — калибр; *7* — приводная шестерня; *8* — крутильная рамка; *9* — направляющие ролики; *10* — тяговое устройство; *11* — приемное устройство.

катушки, расположенной вне тела сигары, позади нее, является периферийной и так же, как все остальные, проходит через направляющие втулки вдоль внутренней или внешней поверхности цилиндра.

Машины с рамкой, вращающейся вокруг приемного устройства, показаны на рис. 2.11. Частичное отличие их от машины с рамкой, вращающейся вокруг отдающего устройства, состоит в том, что внутри крутильной рамки всегда расположена только одна приемная катушка. Машины одной и двойной скрутки конструктивно различаются тем, что в первых тяговое устройство жестко связано с крутильной рамкой, которая, следовательно

но, вращается только вокруг приемного устройства (рис. 2.11,а). В машинах двойной скрутки рамка обязательно должна вращаться вокруг обоих устройств — тягового и приемного (рис. 2.11,б).

В машинах одинарной скрутки вращающийся конец скручиваемого изделия совершает один оборот вокруг оси скрутки, т. е. одно кручение за один оборот крутильного узла. Параметрическое соотношение для всех этих машин:

$$v_{\text{л1}} = n_1 H_1 = n_1 / M_1, \quad (2.7)$$

где  $n_1$  — частота вращения крутильного узла или с учетом принятых величин  $v_{\text{л1}} = n_1 H_1 / 1000$ . Здесь модуль скрутки  $M_1 = K/l = n_1 / v_{\text{л1}}$ .

В машинах двойной скрутки за каждый оборот крутильного узла скручиваемое изделие совершает два кручения вокруг оси скрутки, т. е.  $M_2 = 2K/l = 2n_2 / v_{\text{л2}}$ . При  $n_1 = n_2$  и  $v_{\text{л1}} = v_{\text{л2}}$  получается  $M_2 = 2M_1$ .

Следовательно, шаг скрутки изделия в этом случае:

$$H_2 = \frac{1}{M_2} = \frac{1}{2M_1} = \frac{H_1}{2} = \frac{v_{\text{л1}}}{2n_1} = \frac{v_{\text{л2}}}{2n_2}.$$

Таким образом, при одинаковых линейных скоростях процесса и одинаковых частотах вращения крутильной рамки шаг скрутки изделия на машинах двойной скрутки вдвое меньше, чем на машинах одинарной скрутки. Шаг скрутки определяется при конструировании изделия и является технологически заданным параметром, который должен выдерживаться неизменным независимо от применяемого оборудования. Полагая  $H_2 = H_1 = H$  и исходя из равенства  $n_1$  и  $n_2$ , получаем для машин двойной скрутки

$$v_{\text{л2}} = 2n_2 H_2 = 2n_1 H_1 = 2v_{\text{л1}}. \quad (2.8)$$

Итак, решающим преимуществом рамочных машин двойной скрутки является возможность вдвое увеличить линейную скорость по сравнению с машинами одинарной скрутки без увеличения частоты вращения крутильной рамки. Принципиально возможны машины не с одной, а с несколькими крутильными рамками, вращающимися в противоположных направлениях одна внутри другой. Примером одного из таких практически осуществленных сочетаний являются польские двухрамочные машины

СДВ-160, предназначенные для скрутки токопроводящих жил, принцип действия которых иллюстрирует рис. 2.12. Проволоки 1 получают первую скрутку на участке 2—3а при входе в наружную рамку 4. Вторая скрутка происходит на участке 3д—3е, т. е. между точками выхода из наружной рамки 4 и точкой входа во внутреннюю рамку 5, но так как рамка 5 не неподвижна, а вращается навстречу рамке 4, то на участке 3д—3е осуществляется еще одна (третья по счету) скрутка — здесь как бы суммируются две скрутки: если рассмотреть отрезок жилы на участке 3д—3е, то его ближний (по движению) конец вращается в одну сторону, а дальний — в противоположную. Четвертая скрутка происходит на

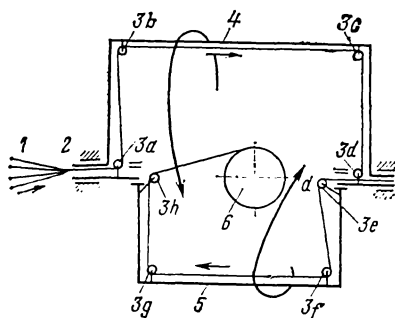


Рис. 2.12. Схема двухрамочной машины четверной скрутки.

участке 3г—6, где 6 — условное обозначение схематически объединенных в один узел тягового и приемного устройств. Машина на рис. 2.12 является двухрамочной двукратно-двойной (четверной) скрутки. Машины с большим числом рамок следует называть многорамочными многократно-двойной скрутки, так как за один оборот каждой рамки достигается двойная скрутка изделия. Параметрическое соотношение для подобных машин в самом общем виде

$$v_{л} = 2 \sum_{i=1}^k n_i H, \quad (2.9)$$

где  $k$  — число крутильных рамок;  $n_i$  — частота вращения  $i$ -й рамки.

Если все рамки вращаются с одинаковой частотой, т. е.  $n_i = \text{const} = n$ , то

$$v_{л} = 2knH. \quad (2.10)$$

Проверить правильность (2.9) и (2.10) можно, используя понятие модуля скрутки  $M$ . Пусть линейная скорость машины  $v_{л}$ . В сфере действия каждой рамки  $i$  число круток на единицу длины изделия (т. е. модуль)



равно:

$$M_1 = \frac{2n_1}{v_{\pi}}; \quad M_2 = \frac{2n_2}{v_{\pi}}, \dots, \quad M_i = \frac{2n_i}{v_{\pi}} \text{ и т. д.}$$

Суммарное число круток на единицу длины изделия, произведенное всеми  $k$  рамками,

$$M = \sum_{i=1}^k M_i = \frac{2 \sum_{i=1}^k n_i}{v_{\pi}}. \quad (2.11)$$

Следовательно, шаг скрутки

$$H = \frac{1}{M} = \frac{v_{\pi}}{2 \sum_{i=1}^k n_i}. \quad (2.12)$$

При  $k=1$  выражения (2.9) и (2.10) естественно переходят в (2.8).

#### 2.4. ОТКРУТКА ПРИ СКРУТКЕ

При скрутке изделий, если не принимаются специальные меры, то скручивающиеся между собой заготовки, например проволоки, изолированные жилы, группы, претерпевают закрутку вокруг собственной оси. Так, при скрутке на клетьевых жесткорамных машинах люльки с отдающими катушками, жестко связанные с крутильной клетью, за каждый оборот последней также поворачиваются на  $360^\circ$  вокруг оси скрутки (рис. 2.13,а). Соответственно в том же направлении закручиваются вокруг собственных осей находящиеся на катушках заготовки. Степень этого кручения зависит от угла подъема винтовой линии, которую образует каждая из скручиваемых заготовок, т. е. угла скрутки  $\alpha$  (см. рис. 2.6):

$$T_0 = \sin \alpha \text{ или } T_0 = \sin \alpha \cdot 360,$$

где  $T_0$  — степень кручения заготовки соответственно в долях оборота, 1/об, или в градусах,  $^\circ$ /об, на длине одного шага скрутки или, что то же самое, приходящаяся на один оборот крутильного механизма машины.

$$\text{В свою очередь } \alpha = \arctg \frac{H}{\pi D_{\text{ц}}} = \arctg \frac{m_{\tau}}{\pi}.$$

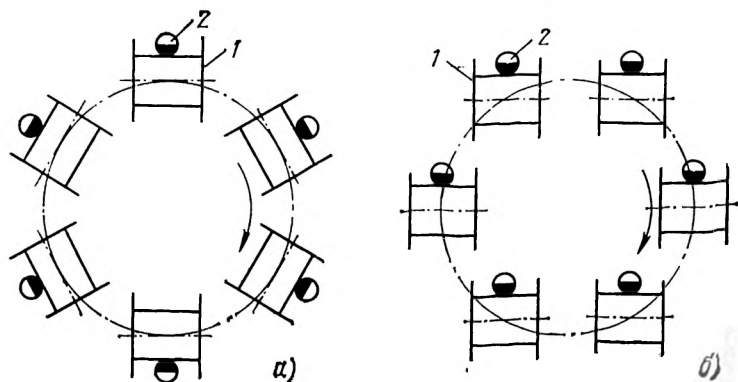


Рис. 2.13. Положения отдающей катушки и находящейся в ней заготовки (проволоки, жилы и др.) при двух способах скрутки на клетевой крутильной машине.

$\alpha$  — без открутки; б — с откруткой; 1 — отдающая катушка; 2 — заготовка (проволока, жила и т. п.).

При применяемых в кабельном производстве кратностях шагов скрутки ( $m_t > 16$ ) угол  $\alpha > 78^\circ$  (рис. 2.14, а) и указанная степень кручения  $T_0$  достигает почти полного оборота (рис. 2.14, б, кривая 1).

Аналогичное закручивание заготовок происходит и на машинах с крутильно-приемным устройством. Различие в закручивании заготовок на машинах с крутильно-отдающим и крутильно-приемным устройствами заключается в противоположности их направлений при одинаковых направлениях вращения крутильных устройств. Направление закручивания заготовок в каждом случае соответствует направлению скрутки изделия. Следовательно, на машинах с крутильно-отдающим устройством  $T_0 = \sin \alpha$ , а на машинах с крутильно-приемным устройством  $T_0 = -\sin \alpha$ . Знаки показывают, что направление закручивания заготовки либо соответствует направлению вращения крутильного устройства, либо противоположно ему. Помимо деформации кручения заготовки испытывают деформацию изгиба, реакция на которую проявляется во вспучивании повива и петлеобразовании, что недопустимо.

Для предотвращения указанных деформаций применяется способ скрутки с откруткой, при котором отдающие катушки с заготовкой вращаются вокруг собственной оси в направлении, совпадающем с направле-

нием скрутки изделия. Так, в клетьевых машинах люльки поворачиваются в сторону, противоположную направлению вращения клетки, а в машинах с вращающимся приемным устройством, наоборот,— в ту же сторону, что и само крутильно-приемное устройство.

Обязательными условиями осуществления открутки являются, во-первых, расположение осей отдающих катушек (или барабанов) не параллельно, а под углом к оси скрутки (практически преимущественно перпендикулярно) и, во-вторых, шарнирная связь отдающих катушек с несущей клетью или неподвижным отдающим устройством. Благодаря открутке отдающие катушки сохраняют неизменное положение в пространстве относительно оси скрутки (см., например, рис. 2.13,б). В зависимости от способа осуществления открутка производится либо на полный оборот (т. е.  $T' = \mp 1$  1/об, или  $T' = \mp 360^\circ$ /об; знаки «—» и «+» характеризуют соответственно открутку на машинах I и II рода), что практически имеет место в подавляющем большинстве машин (см. рис. 2.13,б), либо точно на такое же число градусов, на которое заготовки претерпевали бы закручивание при заданном

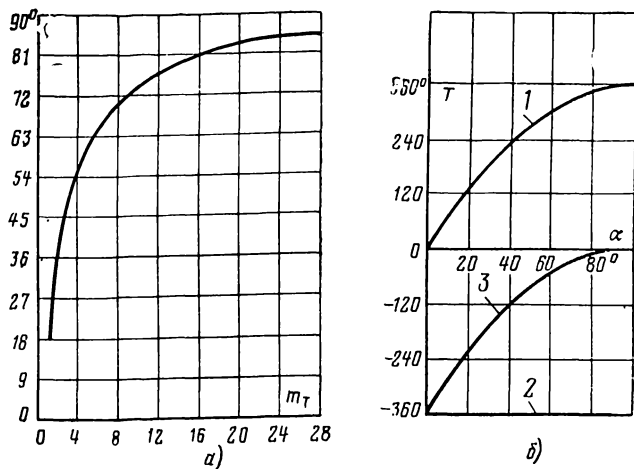


Рис. 2.14. Зависимости угла скрутки  $\alpha$  от кратности шага скрутки  $m_T$  (а) и степени кручения заготовки  $T$  за один оборот крутильного устройства от угла скрутки  $\alpha$  (б).

1 — скрутка без открутки ( $T_0$ ); 2 — открутка ( $T' = -360^\circ$ /об); 3 — скрутка с откруткой ( $T = T_0 + T'$ ).

шаге скрутки. Как видно из рис. 2.14,б и в первом случае степень остаточного закручивания заготовок крайне незначительна

$$T = T_0 + T' = \mp (\sin \alpha - 1) \quad \text{или} \quad T = \mp (\sin \alpha - 1) \cdot 360.$$

Все механизмы для осуществления открутки отдающих катушек (или барабанов) разделяются на две группы: шарнирного параллелограмма (или кривошипно-эксцентрикковые) и планетарные с зубчатыми колесами. Первые могут применяться только в машинах с вращающимися клетями, вторые универсальны. Кроме того, в отдельных случаях открутка производится посредством индивидуальных электродвигателей.

В механизме шарнирного параллелограмма (рис. 2.15) противоположные звенья — кривошипы  $AB$  и  $CD$  равны и параллельны. При повороте кривошипов вокруг осей  $A$  и  $D$  на полный оборот

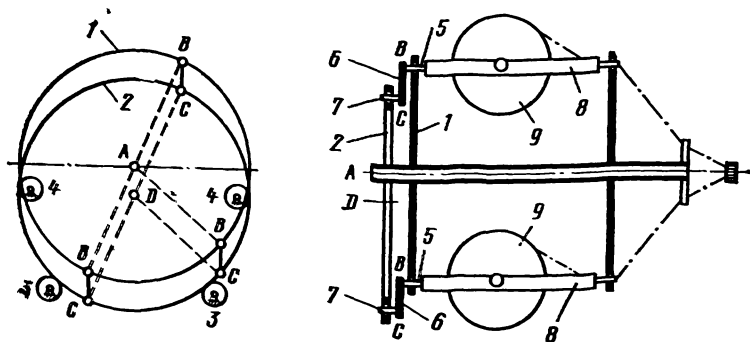


Рис. 2.15. Кривошипно-эксцентрикковый механизм открутки в клетевой горизонтальной крутильной машине.

звено  $BC$  — шатун движется поступательно, т. е. совершает параллельное перемещение по окружности. Задние цапфы крутильных люлек жестко связаны с шатунами шарнирных параллелограммов, следовательно, сами люльки с установленными в них отдающими катушками также совершают параллельное перемещение, благодаря чему и обеспечивается открутка.

Число шарнирных параллелограммов должно быть равно числу крутильных люлек данной машины. Конструктивно система шарнирных параллелограммов выполняется в крутильных машинах в виде двух одинаковых дисков, вращающихся вокруг эксцентрично расположенных осей  $A$  и  $D$ . Один из дисков  $1$  является составной частью крутильного устройства машины, а ось  $A$  — осью машины. Второй диск  $2$ , часто называемый эксцентрикковым кольцом, физической оси не имеет и вращается вокруг своей геометрической оси  $D$ . Для фиксирования положения эксцентриккового диска и, следовательно, его геометрической оси в пространстве служит пара

опорных наружных или внутренних направляющих роликов 3 и 4, по которым катится эксцентриковый диск. Задние цапфы крутильных люлек 5 заканчиваются со стороны эксцентрикового диска колленчатыми звеньями 6 или *BC*. На конце каждого звена находится палец 7, который входит в отверстие, имеющееся в эксцентриковом диске, т. е. кривошипе 2 или *CD*, образуя с последним шарнирное соединение. В свою очередь, оси 5 также шарнирно связаны с крутильным механизмом машины, в частности с диском 1 или *AB*, являющимся вторым кривошипом шарнирного параллелограмма.

При вращении крутильного устройства, опирающегося на внешние опорные ролики 3, пальцы 7 приводят в движение эксцентриковый диск 2, геометрическая ось которого *D* смещена (благодаря наличию внутренних опорных роликов 4) относительно оси вра-

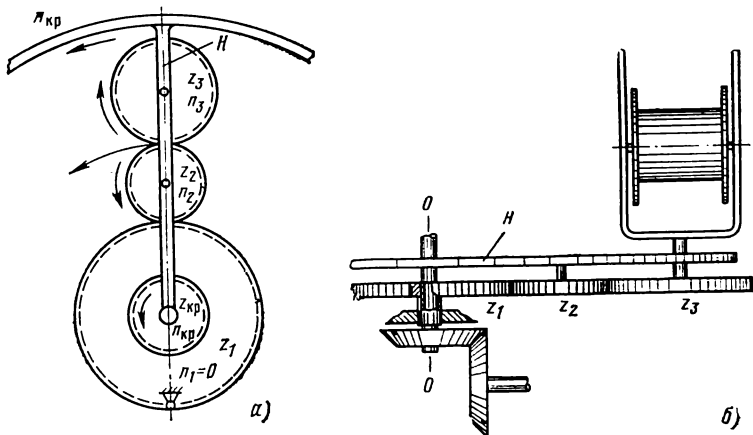


Рис. 2.16. Открытый планетарный механизм открутки в дисковой вертикальной крутильной машине.

*а* — кинематическая схема; *б* — конструктивное выполнение.

щения машины *A* на расстояние, равное длине звена 6. Таким образом, крутильное устройство 1, эксцентриковый диск 2, колено 6 и станина машины образуют механизм шарнирного параллелограмма (*ABCD*), в котором звено 6 является шатуном *BC*, совершающим параллельное перемещение по окружности вместе с кругильной люлькой 8 и закрепленной в ней отдающей катушкой 9.

Благодаря простоте и надежности конструкции кривошипно-эксцентриковый механизм (или просто эксцентриковое кольцо) получил широкое распространение в конструкциях клетьевых машин. Недостатком его является невозможность регулирования степени открутки.

Планетарные механизмы открутки, в свою очередь, разделяются на замкнутые — с двумя шестернями и открытые — с тремя или четырьмя шестернями. Так как

первые применяются редко (например в трехфазных машинах общей скрутки силовых кабелей, имеющих коническую клетку), то рассмотрим более распространенные открытые механизмы. На рис. 2.16 изображен такой механизм, установленный на машине с крутильно-отдающим устройством. Он образован центральным неподвижным зубчатым колесом  $z_1$ , ось которого совпадает с осью вращения крутильного устройства (клетки или диска) машины  $O-O$ , двумя шестернями  $z_2$  и  $z_3$ , из которых одна ( $z_2$ ) является паразитной, и самим крутильным устройством  $H$ , вращающимся вокруг оси  $O-O$  (приводная шестерня  $z_{кр}$ ).

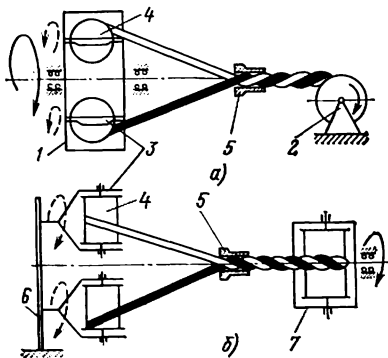


Рис. 2.17. Схемы скрутки с откруткой.

*a* — на машинах с крутильно-отдающим устройством; *b* — на машинах с крутильно-приемным устройством; 1 — вращающаяся клетка; 2 — неподвижное приемное устройство; 3 — люлька; 4 — отдающие катушки; 5 — калибр; 6 — неподвижное отдающее устройство; 7 — вращающееся приемное устройство.

При вращении крутильного устройства  $H$ , например, против часовой стрелки паразитная шестерня  $z_2$ , жестко связанная с крутильным устройством, обегает центральную неподвижную шестерню  $z_1$ , вращаясь также против часовой стрелки вокруг собственной оси и одновременно заставляя вращаться шестерню  $z_3$ , но уже в противоположном направлении. Ось шестерни  $z_3$  является осью соответствующей крутильной люльки. Следовательно, крутильная люлька и установленная в ней отдающая катушка вращаются вместе с шестерней  $z_3$  в направлении, противоположном направлению вращения крутильного устройства. Количество пар шестерен  $z_2$  и  $z_3$  должно, естественно, соответствовать числу люлек крутильной машины. Частоты вращения шестерен связаны следующими соотношениями:

$$n_2 = n_{кр} \frac{z_1}{z_2}; n_3 = -n_2 \frac{z_2}{z_3} = -n_{кр} \frac{z_1}{z_2} \frac{z_2}{z_3} = -n_{кр} \frac{z_1}{z_3}.$$

Следовательно, условием осуществления полной открутки ( $n_3 = -n_{кр}$ ) является равенство чисел зубьев шестерен  $z_1$  и  $z_3$ . Если  $z_3 > z_1$ , открутка окажется неполной, если же  $z_3 < z_1$ , то за каждый оборот крутильного устройства отдающим катушкам будет сообщена открутка больше чем на  $360^\circ$ . Степень открутки при этом за один оборот крутильного устройства выразится зависимостью

$$T' = \frac{z_1}{z_3}, \text{ 1/об, или } T' = \frac{z_1}{z_3} \cdot 360, \text{ }^\circ/\text{об.}$$

В машинах с неподвижным отдающим и вращающимся приемным устройствами в планетарный механизм открутки добавляется четвертая (внешняя) шестерня  $z_4$ , которая естественно вращается сама и, следовательно, вращает люльку в ту же сторону, в какую вращается крутильно-приемное устройство. Обычно  $z_4 = z_3 = z_1$  и  $n_4 = n_{кр}$ .

На рис. 2.17 приведены схемы вращения катушек в машинах с крутильно-отдающим и крутильно-приемным устройствами. В машинах разнонаправленной скрутки открутка не производится.

## 2.5. МАШИНЫ РАЗНОНАПРАВЛЕННОЙ СКРУТКИ

Исторически первыми машинами этого класса были машины так называемой волновой скрутки, введенные в производство городских телефонных кабелей. Современные конструкции таких кабелей обуславливают скрутку их в две и даже в три стадии: сначала скрутку пар или четверок в малопарные элементарные пучки (ЭП), затем скрутку последних в главные пучки (ГП), состоящие из 50 или 100 пар (соответственно 25 или 50 четверок), или непосредственно в сердечники кабелей с числом пар до 100 (до 50 четверок) и, наконец, скрутку главных пучков многопарных кабелей с числом пар от 150 и выше. Чтобы уменьшить число операций, две первые из них были совмещены: скрутка групп в элементарные пучки и скрутка последних в главные пучки или в сердечники. Это достигается благодаря использованию на первой стадии совмещенного процесса распределительных розеток, не неподвижных, как обычно, а совершающих колебательно-вращательное движение, т. е. делающих поочередно неполные обороты (на  $180-270^\circ$ ) в обе стороны. Фактически при этом получается не пол-

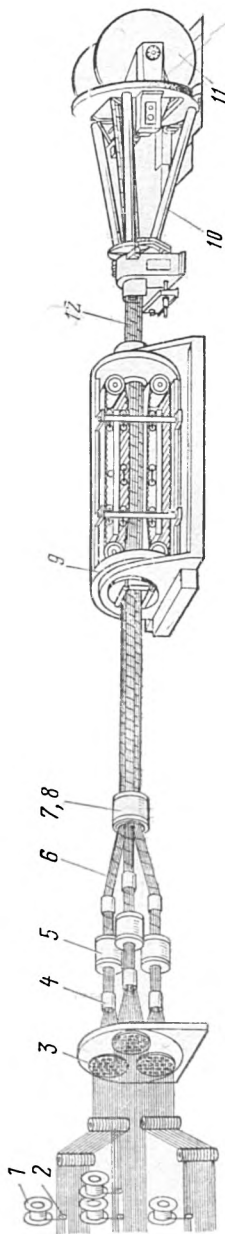


Рис. 2.18. Схема машины с подвижными распределительными розетками для одновременной волновой скрутки пар в элементарные 10-парные пучки и элементарных пучков (на схеме — трех) в главный пучок или в сердечник.

ная скрутка, а спиралеобразная укладка элементарного пучка, что естественно несколько ухудшает как параметры помехозащищенности между цепями, так и гибкость кабеля в целом. Принцип действия подобной машины показан на рис. 2.18 применительно к скрутке сердечника  $30 \times 2$  из трех элементарных пучков  $10 \times 2$ . Скрученные пары на катушках 1, расположенные группами по 10 — каждая в своем отдающем устройстве, пройдя систему направляющих роликов и валиков 2, подводятся к индивидуальным распределительным розеткам 3. В каждую розетку поступает соответствующая группа из 10 пар. На выходе из розетки сформированный пучок проходит калибр 4 и нитеобмотчики 5, где он с целью скрепления обматывается хлопчатобумажной или синтетической нитью. Затем элементарные пучки 6 проходят общую распределительную розетку 7 и калибр 8 и поступают во вращающееся вокруг оси скрутки гусеничное тяговое устройство 9 и далее в клеть 10 с приемным барабаном 11, т. е. в крутильно-приемное устройство. Скрутка сердечника 12 происходит на участке 8—9. Обычно число индивидуальных колебательно вращающихся розеток в машине — десять; вокруг трех, находящихся в центре, располагаются еще семь; благодаря этому можно скручивать сердечники



или главные пучки с числом пар до 100 включительно. Привод розеток может быть общегрупповой (посредством охватывающего их всех ремня) или от индивидуальных электродвигателей. Последний предпочтительнее, так как при этом можно придать каждой розетке различную частоту колебаний и тем самым обеспечить различные шаги скрутки (укладки) элементарных пучков.

Машина согласно схеме рис. 2.18 является сочетанием двух классов машин: разнонаправленной волновой скрутки и однонаправленной пучковой скрутки (общая скрутка элементарных пучков в сердечник или в главный пучок производится все время в одном направлении). Такие смешанные комбинированные машины можно называть машинами пучково-волновой скрутки. Все устройства для разнонаправленной скрутки сочетаются в смешанных комбинированных машинах либо с крутильно-приемными устройствами, либо с приемными устройствами, вокруг которых вращается крутильная рамка, т. е. с такими, которые осуществляют пучковую скрутку.

Принцип волновой скрутки можно применять не только при совмещении двух крутильных операций, но и при выполнении одной операции — скрутке сердечника 10-парного (5-четверочного) кабеля. Естественно, конструкция машины для этой цели сильно упрощается: она имеет только одну колебательно-вращающуюся розетку и неподвижное приемное устройство. Отсутствие вращающегося приемного устройства позволяет встроить такую машину в линию экструдера для наложения пластмассовой оболочки. В этом случае приемное устройство вообще ликвидируется. Сердечник после розетки и калибра проходит через приспособления, где на него продольно накладываются поясная изоляция и экран, и поступает в головку экструдера.

Основным преимуществом любых машин разнонаправленной (в частности, волновой) скрутки является возможность компоновки на их базе двухэлементных комбинированных машин или агрегатов, осуществляющих одновременно две однородные (две скрутки) или разнородные (например, скрутку и наложение оболочки) операции. При этом сокращается суммарное ручное время, затрачиваемое на перезаправку машин, и, следовательно, повышается коэффициент машинного времени.

На рис. 2.19 показана схема волнообразной укладки

пучка при повороте розетки на  $3/4$  оборота, т. е. на  $270^\circ$ , сначала против часовой стрелки, затем по часовой стрелке. Каждый из скручиваемых элементов проходит последовательно сначала положения от 1 до 10, а затем после реверса розетки — от 10' до 1' в противоположном направлении.

Волновую скрутку характеризуют следующие параметры:

Угол закрутки  $\alpha_3$ , т. е. угол между лучами, проведенными из центра пучка через точки начального положения и наибольшего смещения скручиваемого элемента (рис. 2.19, угол между точками 1 и 10 или 1' и 10').

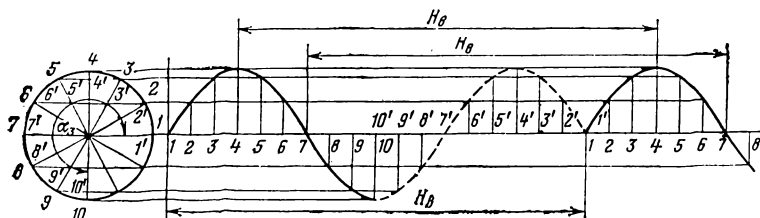


Рис. 2.19. Схема спиралеобразной укладки групп (пар, четверок) при волновой скрутке их в элементарный пучок.

Шаг укладки или шаг волновой скрутки  $H_B$  — расстояние между двумя одинаковыми положениями скручиваемого элемента после совершения им полного периода (т. е. прохождения двух дуг окружности) закрутки, измеренное вдоль линии параллельной оси скрутки. Шаг волновой скрутки  $H_B$  больше шага обычной скрутки  $H$  в отношении  $2\alpha_3/360^\circ = \alpha_3/180^\circ$  раз.

Обозначим последнее отношение через  $k_B$ . Тогда  $H_B = k_B H$  и  $H_B = 1,5 H$  при угле закрутки  $\alpha_3 = 270^\circ$ .

Кратность шага укладки ( $m_{T,B}$ ;  $m_B$ ) — отношение шага укладки  $H_B$  к диаметру скрученного пучка. Например,

$$m_B = \frac{H_B}{D} = \frac{\alpha_3}{180^\circ} \cdot \frac{H}{D} = \frac{\alpha_3}{180^\circ} m = k_B m.$$

Коэффициент укрутки — отношение длины скручиваемого элемента  $l_{\alpha,B}$ , приходящейся на один шаг укладки, к шагу укладки  $H_B$

$$k_{y,B} = l_{\alpha,B} / H_B.$$

Следует иметь в виду, что в прямоугольном треугольнике развертки скручиваемого элемента на плоскость один из катетов равен  $H_B$ , а другой больше  $\pi D$  в отношении  $k_B = \alpha_3 / 180^\circ$

Тогда

$$k_{y, B} = \frac{\sqrt{H_B^2 + k_B^2 \pi^2 D^2}}{H_B} = \frac{k_B \sqrt{H^2 + \pi^2 D^2}}{k_B H} =$$

$$= \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{m^2}} = k_y.$$

Таким образом, коэффициент укрутки при волновой скрутке определяется по известной формуле для обычной скрутки при пользовании величиной

$$H = H_B : \frac{\alpha_3}{180^\circ} = H_B : k_B.$$

Коэффициент волновой скрутки  $k_B = \alpha_3 / 180^\circ$ . Эта величина входит во все соотношения, связывающие между собой параметры однонаправленной и волновой скруток. Линейная скорость машины равна произведению шага укладки на число двойных колебаний распределительной розетки (или на удвоенное число ее одинарных колебаний)

$$v_n = H_B n_{2\alpha_3} = H_B \cdot 2n_{\alpha_3} \quad (2.13)$$

Волновую скрутку можно называть одновитковой или разнонаправленной скруткой, так как изделие закручивается поочередно в каждом направлении на один (притом неполный) виток.

Более совершенную и стабильную скрутку изделия обеспечивают машины разнонаправленной многовитковой скрутки, при которой на длину изделия, соответствующую одному направлению скрутки, приходится до нескольких десятков круток (т. е. витков). Такую скрутку называют циклической разнонаправленной скруткой (имея в виду цикл из  $i$  круток одного направления;  $i > 1$ ). В зарубежной литературе именно к ней относят условное наименование SZ-скрутки.

Известно много конструктивных вариантов машин циклической разнонаправленной скрутки. Рассмотрим наиболее распространенные из них — с вращающимися накопителями, которые можно разделить на

две группы: с одним накопителем и с двумя накопителями. В каждой группе имеется по два типа машин.

а) Машины с одним вращающимся реверсивным накопителем, делающим  $+n$  оборотов в минуту в одну сторону и  $-n$  — в другую. Принцип действия такой машины был освещен выше (см. рис. 2.4, б). Линейная скорость процесса при этом постоянна:  $v_{л} = v = \text{const}$ , метров в минуту. Выведем параметрическое соотношение машины из следующих соображений. Пусть накопитель вращается против часовой стрелки с частотой  $+n$ , об/мин, тогда в него входит пучок левой скрутки с шагом  $H'_1 = +v/n$ , м. По заполнении пучком левой скрутки накопитель реверсируется, начинает вращаться по часовой стрелке и выходящий из него пучок снова получает левую скрутку с шагом  $H''_1 = +v/n$ . Так как  $v = \text{const}$  и  $n = \text{const}$ , то  $H'_1 = H''_1 = H_1$ . Суммарное число круток на единицу длины пучка, т. е. итоговый модуль скрутки,

$$M_{ит} = M'_1 + M''_1 = \frac{1}{H'_1} + \frac{1}{H''_1} = \frac{2}{H} = +\frac{2n}{v}.$$

Итоговый шаг левой скрутки  $H_1 = +v/2n$ . Аналогичные соотношения получаются для следующего цикла — правой скрутки пучка, приобретающего на этот раз при входе в накопитель число круток отрицательного направления  $M'_2 = -n/v$  и при выходе из него вторично такое же число круток  $M''_2 = -n/v$ . Итоговый шаг правой скрутки  $H_2 = -v/2n$ .

Следовательно, параметрическое соотношение машин с реверсивным накопителем такое же, как и рамочных машин двойной однонаправленной скрутки:

$$v_{л} = 2nH. \quad (2.14)$$

Недостатком машин этого типа является сложность относительно частого реверсирования быстро вращающегося накопителя, делающего несколько сотен оборотов в минуту, и неизбежность переходного процесса изменения («растягивания») шага от  $+v/2n$  до  $-v/2n$  через  $\infty$  в период реверса ( $n \rightarrow 0$ ), как бы краток он ни был.

б) Машины с одним вращающимся неререверсивным накопителем. Чтобы уяснить принцип действия этого и последующего типов машин SZ-скрутки, следует помнить, что в случае неререверсивного накопителя при неизменных параметрах  $n$  и  $v$  пучок на входе накопителя

приобретает модуль скрутки  $M$ , а на выходе накопителя равный, но всегда противоположный по знаку модуль  $-M$ . В итоге скрутки не произойдет (произойдет упомянутая ранее «мнимая скрутка»). Чтобы осуществить разнонаправленную скрутку, необходимо изменять один из параметров ( $n$  или  $v$ ) по абсолютному значению или по знаку. (Изменение  $n$  по знаку и было проделано в предыдущем варианте машины.) В данном типе машины скачкообразно изменяется линейная скорость  $v$ . В течение периода времени  $t_1$  скорость равна  $v_1$ , а в течение периода времени  $t_2$  скорость равна  $v_2$ , причем  $v_1 = pv_2$ . В таком случае модуль скрутки изделия при входе в накопитель  $M_1 = n/v_1$  не равен его модулю скрутки при выходе из накопителя  $M_2 = n/-v_2$ . В результате изделие обязательно приобретет итоговое число круток на единицу длины

$$M_{\text{ит}} = M_1 + M_2 = \frac{n}{v_1} - \frac{n}{v_2} = \frac{n}{pv_2} - \frac{n}{v_2} = \frac{(1-p)n}{pv_2} \neq 0.$$

Для упрощения последующих рассуждений зададимся в качестве примера  $v_1 = 3v_2$  и  $t_1 = t_2/3$  (т. е.  $p = 3$ ) и начнем цикл с заполнения накопителя, вращающегося против часовой стрелки с меньшей скоростью  $v_2$  в течение периода времени  $t_2$ . Пучок на входе в накопитель приобретает левую (условно положительную) скрутку с модулем  $M_2 = +n/v_2$  и шагом соответственно  $H_2 = +v_2/n$ . По заполнении накопителя за время  $t_2$  скорость переключается на  $v_1$  и пучок на выходе из накопителя получает скрутку обратного (правого) направления с модулем  $M_1 = -n/v_1$  и шагом скрутки  $H_1 = -v_1/n$ .

В итоге

$$M'_{\text{ит}} = +\frac{n}{v_2} + \left(-\frac{n}{v_1}\right) = \frac{n}{v_2} - \frac{n}{3v_2} = \frac{2n}{3v_2} = \frac{2n}{v_1}$$

левых круток. Итоговый шаг скрутки (левой)  $H'_{\text{ит}} = +v_1/2n$ .

Входящий теперь в накопитель новый отрезок пучка в течение интервала времени  $t_1$  имеет неизменное левое направление скрутки, но уже с шагом  $H_1 = +v_1/n$  и модулем  $M_1 = +n/v_1$ . Затем линейная скорость снова переключается на  $v_2$  и на выходе из накопителя модуль скрутки пучка будет  $M_2 = -n/v_2$  (шаг  $H_2 = -v_2/n$  неиз-

менно правой скрутки). Итоговый модуль скрутки

$$\begin{aligned} M''_{\text{ит}} &= +\frac{n}{v_1} + \left(-\frac{n}{v_2}\right) = \frac{n}{3v_2} - \frac{n}{v_2} = \\ &= -\frac{2n}{3v_2} = -\frac{2n}{v_1}, \end{aligned}$$

а итоговый шаг скрутки (правой)  $H''_{\text{ит}} = -v_1/2n$ .

Таким образом, из накопителя будут выходить с различной ступенчатой чередующейся скоростью участки пучка равной длины (соответствующей емкости накопителя  $l$ ), но имеющие противоположные направления скрутки с одинаковыми шагами  $+v_1/2n$ ;  $-v_1/2n$  и т. д.

Определим эффективную линейную скорость машины, характеризующую ее производительность. Так как  $v_1 t_1 = v_2 t_2 = l$ , то

$$v_{\text{эфф}} = \frac{l+l}{t_1+t_2} = \frac{2l}{t_1+3t_1} = \frac{l}{2t_1} = \frac{v_1}{2}.$$

Сравним параметрические соотношения машин, приведенных в пп. «а» и «б». При одинаковой эффективной линейной скорости  $v = v_{\text{эфф}}$ , т. е. при выдаче обеими машинами одинаковых длин скрученного пучка за один и тот же промежуток времени,  $2t = t_1 + t_2$ . В данном случае  $t = 2t_1$  и

$$v_1 = \frac{l}{t_1} = \frac{tv}{t/2} = 2v = 2v_{\text{эфф}}.$$

Следовательно, при  $n = \text{const}$  в обоих случаях шаг скрутки изделия на второй машине окажется вдвое больше, чем на первой:

$$H = \frac{v_1}{n} = \frac{2v}{2n} = \frac{v}{n} = \frac{v_{\text{эфф}}}{n}.$$

Для того чтобы шаг скрутки независимо от способа скрутки изделия оставался неизменным (при  $n = \text{const}$ ), линейные скорости машины, приведенной в п. «б», придется уменьшить вдвое (для принятого соотношения  $v_1 = 3v_2$ ), т. е.  $v'_1 = v_1/2$ ,  $v'_2 = v_2/2$  и  $v'_{\text{эфф}} = v_{\text{эфф}}/2$ . В данном частном случае при  $p = 3$  параметрическое соотношение машин SZ-скрутки (см. п. «б») такое же, как у машин однонаправленной одинарной скрутки, т. е.

$$v_{\text{эфф}} = nH.$$

В общем случае

$$v_{\text{эфф}} = 2nH \frac{p-1}{p+1}. \quad (2.15)$$

При  $v_1 = pv_2$  сначала определяем  $v_{\text{эфф}}$  по заданным  $n$  и  $H$ , затем находим  $t_1 = 2l/v_{\text{эфф}}(p+1)$  и  $v_1 = l/t_1$  и соответствующие им  $v_2$  и  $t_2$ .

Достоинство машин, приведенных в п. «б», по сравнению с приведенными в п. «а» — не требуется реверс накопителя; недостатки: меньшая производительность (в приведенном примере вдвое), рывки изделия при переходе с меньшей скорости на большую, которые могут отрицательно сказаться на его качестве и даже привести к обрывам отдельных скручиваемых элементов. Поэтому отношение  $v_1 : v_2$  не должно быть большим. И все же наиболее существенным недостатком машин с переменной линейной скоростью является невозможность сочетания их в линии с другими машинами, например с экструдером, имеющими постоянную линейную скорость.

Однако рассмотренная схема процесса скрутки с успехом используется в машинах с двумя накопителями, в которых при изменении скорости скручиваемого изделия в пределах накопителей, т. е. крутильного устройства, обеспечивается его постоянная скорость на тяговом устройстве, т. е. постоянная линейная скорость.

в) Машины с одним вращающимся неререверсивным накопителем и одним невращающимся (неподвижным)

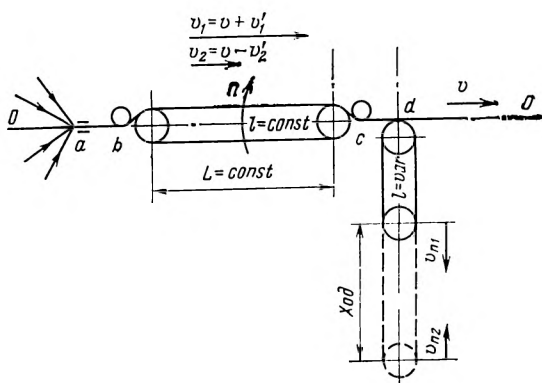


Рис. 2.20. Схема машины разнонаправленной циклической скрутки с одним вращающимся накопителем постоянной емкости и одним невращающимся накопителем-полиспастом переменной емкости.

накопителем переменной емкости. Схема такой машины (рис. 2.20) отличается от вышеописанной тем, что на участке между выходом из вращающегося накопителя постоянной емкости  $l = \text{const}$  и тяговым устройством введено промежуточное звено в виде невращающегося накопителя — компенсатора типа полиспада переменной емкости ( $l = \text{var}$ ). Нижняя ось полиспада имеет принудительный независимый привод, сообщаящий ей периодически изменяющуюся линейную скорость ( $v_{п1}$ ,  $v_{п2}$ ). Следовательно, по отношению к вращающемуся накопителю компенсатор выполняет функции промежуточного тягового устройства с изменяющейся линейной скоростью, т. е. эта часть машины, рассмотренной в п. «в», соответствует п. «б».

При этом скорость скрутки на участках от  $a$  до  $d$  машины складывается из вектора постоянной линейной скорости  $v$  и векторов, пропорциональных скоростям движения нижней оси компенсатора:

$$v_1 = v + v'_1 = v + 2v_{п1} \text{ в течение времени } t_1 \text{ и}$$

$$v_2 = v - v'_2 = v - 2v_{п2} \text{ в течение времени } t_2.$$

Роль компенсатора физически заключается в том, что при большей скорости  $v_1$  изделие проходит суммарно больший путь, а при меньшей скорости  $v_2$  — меньший путь в пределах обоих накопителей, благодаря чему и обеспечивается постоянство линейной скорости на тяговом устройстве. Естественно, параметрическое соотношение у машин по п. «в» такое же, как и у по п. «б» [см. (2.15)]:

$$v_{п1} = 2nH \frac{p-1}{p+1}, \text{ а при } p = 3 \text{ } v_{п1} = nH.$$

Недостатком машин является непостоянство скорости изделия на входе в машину, что приводит к периодическим рывкам заготовок и вынуждает применять только безынерционные отдающие устройства.

г) Машины с двумя вращающимися накопителями. В этих машинах, во-первых, конструктивно объединены вращающийся накопитель постоянной емкости и невращающийся накопитель — компенсатор переменной емкости в один вращающийся накопитель-компенсатор пере-



менной емкости и, во-вторых, два таких накопителя-компенсатора  $A$  и  $B$  установлены на общей продольной оси и вращаются в противоположные стороны (рис. 2.21) с постоянными частотами вращения либо одинаковыми  $n_A = n_B = n$ , либо различными  $n_A = kn_B$ . Емкости обоих накопителей периодически изменяются, но так, что сумма их остается постоянной. Уменьшение расстояния  $x$  между центрами блоков накопителя  $A$  сопровождается увеличением на столько же расстояния  $y$  между центрами блоков накопителя  $B$ . Это достигается размещением

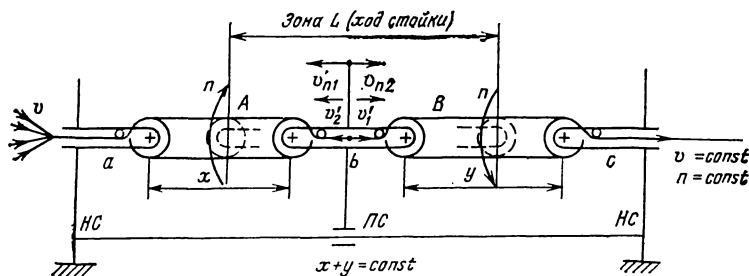


Рис. 2.21. Схема машины разнонаправленной циклической скрутки с двумя вращающимися накопителями переменной емкости.

держателей двух крайних блоков обоих накопителей на неподвижных стойках  $НС$ , а объединенного держателя двух средних блоков — на промежуточной подвижной стойке  $ПС$ , совершающей возвратно-поступательное перемещение в зоне  $L$  между неподвижными стойками. Изделие при этом не обрывается и не провисает, а лишь плавно переходит из одного накопителя в другой: из правого  $B$  в левый  $A$  при перемещении подвижной стойки вправо и, наоборот, из левого  $A$  в правый  $B$  при перемещении подвижной стойки влево. Такие совмещенные накопители иногда называют «дышащими». Обязательным условием является перемещение стойки в разных направлениях с различными скоростями, например влево со скоростью  $v_{п1}$  и вправо со скоростью  $v_{п2}$ . Рассмотрим случай, когда частоты вращения обоих накопителей одинаковы и равны  $n$ . Пусть накопитель  $A$  всегда вращается против часовой стрелки. Тогда входящий в него пучок всегда получает на участке  $a$  левую скрутку с постоянным модулем  $M_a = n/v$ , так как и  $n$  и  $v$  — линейная скорость постоянны. На участке  $b$  вследствие перемеще-

ния подвижной стойки скорость пучка различна

$$v_1 = v + v'_1 = v + 2v_{п1};$$

$$v_2 = v - v'_2 = v - 2v_{п2},$$

где  $v$  — линейная скорость пучка на входе в машину и на выходе из нее.

На участке  $b$  пучок дважды закручивается в правом направлении, так как ближний (если смотреть по движению) его конец вращается накопителем  $A$  против часовой стрелки, а дальний конец — накопителем  $B$  по часовой стрелке.

Для упрощения примем опять

$$p = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v + v'_1}{v - v'_2} = 3.$$

Такое отношение обеспечивается при  $v'_1 = v$  и  $v'_2 = v/3$ . Значит,  $v_1 = v + v'_1 = 2v$  и  $v_2 = v - v/3 = 2v/3$ . Следовательно, модуль скрутки на участке  $b$  при перемещении стойки со скоростью  $v_1$

$$M'_b = -\frac{n}{v_1} + \left(-\frac{n}{v_1}\right) = -\frac{2n}{v_1} = -\frac{n}{v}.$$

Итоговый модуль на этом участке в период времени  $t_1$

$$M'_{итb} = M_a + M'_b = \frac{n}{v} + \left(-\frac{n}{v}\right) = 0,$$

т. е. пучок полностью раскручивается ( $H'_b = \infty$ ). В период времени  $t_2$ , когда скорость пучка уменьшается до  $v_2$ , модуль скрутки (по-прежнему правой) на участке  $b$  возрастает (т. е. увеличивается число круток на единицу длины изделия) до (при условии  $v_2 = v_1/3$ )

$$M''_b = 3M'_b = -\frac{3n}{v}$$

и итоговый модуль в этом случае

$$M''_{итb} = M_a + M''_b = \frac{n}{v} + \left(-\frac{3n}{v}\right) = -\frac{2n}{v}.$$

Таким образом, в накопитель  $B$  поочередно (за периоды времени  $t_1$  и  $t_2$ ) входят участки пучка длиной  $l$ , то полностью раскрученные, то с двойной правой скруткой

( $H''_b = -v/2n$ ). При выходе из накопителя  $B$ , вращающегося по часовой стрелке, каждый из участков  $l$  получает дополнительно одну и ту же левую скрутку с модулем  $M_c = n/v$ . Когда из накопителя  $B$  выходит участок с нулевой скруткой, его итоговые модуль и шаг скрутки

$$M'_{итс} = M'_{итб} + M_c = 0 + \frac{n}{v} = \frac{n}{v}; \quad H'_{итс} = \frac{v}{n}$$

(скрутка левая).

Когда из накопителя  $B$  выходит участок правой скрутки с суммарным числом круток на единицу длины  $K/l = -2n/v$ , то его итоговые параметры

$$M''_{итс} = M''_{итб} + M_c = -\frac{2n}{v} + \frac{n}{v} = -\frac{n}{v}$$

и

$$H''_{итс} = -\frac{v}{n}$$

(скрутка правая).

Итак, из крутильного устройства в калибр и далее на тяговое устройство поступают участки одинаковой длины  $l$ , скрученные с одинаковым шагом  $H = v/n$  попеременно то в левом, то в правом направлении.

Параметрическое соотношение для этих машин в общем случае, когда  $n_A \neq n_B$ , т. е.  $n_A = kn_B$ , следующее:

$$v = (k + 1) n_B H \frac{p - 1}{p + 1}. \quad (2.16)$$

При  $n_A = n_B = n$  оно переходит в  $v = 2nH \frac{p - 1}{p + 1}$  и,

наконец, в рассматриваемом случае, когда  $p = 3$ , получается  $v = nH$ .

Накопители-полиспасты описанного типа рассчитаны обычно на 4—6 витков скручиваемого изделия в каждом из них и имеют частоту вращения до 3000 об/мин. Длина участков однонаправленной скрутки 10—20 м. Во избежание резких рывков скручиваемого изделия на участке  $b$  практически принимают  $p \leq 2$ . Данный тип машины наиболее совершенный из всех четырех. Его накопители не требуется реверсировать, а скорость изделия постоянна не только на выходе из машины, но и на вхо-

де в нее, что позволяет использовать любые отдающие устройства.

Как уже говорилось, машинами с накопителями не исчерпываются все возможные варианты машин SZ-скрутки. Можно, например, вместо накопителей поставить на расстоянии нескольких метров две крутильные головки, вращающиеся в противоположные стороны, и посредством автоматизированного электропривода периодически изменять частоты их вращения  $n_1$  и  $n_2$  так, чтобы  $n'_1 > n'_2$  и  $n''_1 < n''_2$  в равные периоды времени  $t_1$  и  $t_2$ .

Если для каждого типа машин однонаправленной скрутки характерны однозначные параметрические соотношения, например  $v = nH$ ,  $v = 2nH$ , то для рассмотренных машин разнонаправленной скрутки с вращающимися накопителями (за исключением машины по п. «а») параметрические соотношения не однозначны, а зависят от отношения периодически чередующихся (конечных или промежуточных) скоростей, равного  $p$ .

### *Глава третья*

## **СКРУТКА ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ И НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ**

### **3.1. СКРУТКА НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ДЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Неизолированные провода для линий электропередачи в зависимости от расстояния между опорами, разности уровней между ними, передаваемой мощности и длины линий изготавливают алюминиевыми, из алюминиевого сплава АВ-Е (алюминий — магнит — кремний — железо), сталеалюминиевыми, медными, бронзовыми и сталебронзовыми. С целью получения проводов повышенной механической прочности их скручивают из неотожженной проволоки, проволоку из алюминиевого сплава АВ-Е предварительно закаляют. Стальная оцинкованная проволока по ГОСТ 9850-72 должна иметь временное сопротивление при разрыве не менее 1,34—1,20 ГПа и удлинение не более 4,0% и алюминиевая проволока по ГОСТ 829-74 соответственно 100—190 МПа и 0,5—2,0%.

Скрутку алюминиевых семипроволочных проводов производят на крутильных машинах сигарного типа с шестью катушками диаметром не менее 400 мм. Для обеспечения большой строительной длины проводов сечением 16—25 мм<sup>2</sup> скрутку производят на машинах с отдающими катушками диаметром 400 или 500 мм; сечением 35—50 мм<sup>2</sup> на машинах с отдающими катушками 500 или 630 мм и сечением 70—95 мм<sup>2</sup> — на машинах с отдающими катушками диаметром 630 или 1000 мм. Готовый провод принимают по одной или по две расчетные длины на барабан диаметром 1000—1200 мм.

Скрутку 19-проволочных алюминиевых проводов производят на крутильных машинах сигарного типа с 6+12 отдающими катушками или на двухклетьевых машинах МКД (без открутки) или на машинах МКРД (с откруткой), а скрутку 37- и 61-проволочных жил на трех-четырёх клетьевых машинах МКД и МКРД. В проводах, состоящих из нескольких повивов, допускается раздельная скрутка провода по повивам. Первоначально скручивают семипроволочный сердечник на крутильной машине сигарного типа, а наложение последующих повивов производят на клетьевых машинах без открутки или клетьевых машинах с откруткой.

Скрутку сталеалюминиевых проводов с однопроволочным сердечником из оцинкованной стальной проволоки производят на крутильных машинах сигарного типа, а с многопроволочным сердечником из оцинкованных стальных проволок — на крутильных машинах клетьевого типа с откруткой или раздельной скруткой. Первоначально скручивают сердечник из оцинкованных стальных проволок на крутильных машинах сигарного типа или на клетьевых машинах с откруткой, а затем производят наложение повивов алюминиевых проволок на крутильных машинах клетьевого типа без открутки или на клетьевых машинах с откруткой.

Строительные длины проводов, принимаемые на барабаны диаметром 1000 и 1200 мм, в различных моделях крутильных машин сигарного типа находятся в пределах 7,4—2,7 км.

В крутильных машинах устанавливают направляющие втулки, изготовленные из металлокерамических или минералокерамических сплавов, через которые пропускают скручиваемые проволоки. При обнаружении

прорезания поверхности втулки их поворачивают для исключения дальнейшего повреждения проволоки.

Каждая крутильная машина снабжена счетчиком длины провода, автоматической системой остановки машин при сходе проволоки с катушек или ее обрыве; комплектом отдающих катушек; грузоподъемным механизмом для заправки машины; приспособлением для разрезания провода при смене приемного барабана.

При раздельной скрутке сердечника провода и наложении повивов алюминиевых проволок крутильную машину клетьевого типа оборудуют отдатчиком для барабана с сердечником.

При скрутке проводов марок АКП, АСКС, АСКП крутильные машины оборудуют экструдерами или другими приспособлениями для заполнения сердечника из оцинкованных стальных проволок или провода смазкой, а при скрутке провода марки АСК — ванной для смазки сердечника и приспособлением для продольного наложения или обмотки сердечника полиэтилентерефталатной лентой толщиной не менее 0,025 мм.

Оцинкованную стальную проволоку с бухт и с транспортных барабанов перематывают на катушки крутильных машин на перемоточных машинах. Расстояние между верхним рядом проволоки на катушке и краем щеки последней должно быть не менее 10—15 мм.

Алюминиевую проволоку на волочильных машинах принимают на катушки крутильных машин для исключения перемотки с приемных катушек волочильных машин на отдающие катушки крутильных машин. Длина алюминиевой проволоки на катушках при изготовлении семипроволочных проводов должна обеспечить строительную длину провода. Проволока должна быть намотана на катушку одним отрезком. Сварка готовой проволоки на катушках не допускается.

Заправку крутильных машин катушками с проволокой производят партиями. Одновременная заправка машины всеми катушками с проволокой создает сбалансированную уравновешенность машины и условия для длительной безостановочной работы машины. Последовательная заправка машины путем поочередной замены отдельных катушек нарушает сбалансированную уравновешенность машины. Увеличивается биение машины в подшипниках, вызывающее преждевременный выход машин из строя. Кроме того, частые остановки

машины для перезаправки катушек вызывают снижение линейной скорости и уменьшение производительности машины. С целью сокращения времени на заправку очередной строительной длины семипроволочного алюминиевого провода производят сверку проволок с последующей вырубкой сваренного участка провода.

Скручиваемый провод проходит через калибрующий ниппель, изготавливаемый из текстолита, древесностойкого пластика или из стали не ниже марки 45. Размеры калибрующих ниппелей должны соответствовать диаметрам провода или отдельных повивов провода. При прохождении провода через калибрующий ниппель не должно образовываться алюминиевой стружки, а на поверхности провода — рисунок. При пропускании провода через волоку (с учетом происходящей деформации верхнего повива провода) происходит выравнивание его поверхности и уменьшение наружного диаметра, в результате чего уменьшаются ветровые нагрузки и нагрузки от обледенения.

Неизолированные провода изготавливают с применением концентрической повивной скрутки в противоположные стороны по повивам, причем наружный повив всегда должен иметь правое направление. Скрутка повивов относительно других должна быть плотной без перехлестывания проволок, выпирания, разрывов и надломов отдельных проволок. Заполнение промежутков между проволоками в проводах марок АКП, АСКС, АСКП и АСК производят без пропусков по длине.

Сварку алюминиевых и стальных проволок при скрутке алюминиевых и сталеалюминиевых проводов сечением выше  $95 \text{ мм}^2$  производят на расстоянии между местами сращивания различных проволок не менее 15 м. Сварка однопроволочного сердечника не допускается. Проволоку в местах ее сварки отжигают путем нагрева на сварочном аппарате на расстояние не менее 30 мм с каждой стороны сращивания. Допускается сращивание алюминиевых проволок на машинах стыковой холодной сварки марки МСХС без последующего отжига.

Участок сварки оцинкованной стальной проволоки оцинковывают методом электролиза в ванне с раствором электролита (серноокислый цинк 450 г/л, серноокислый натрий 100 г/л и серноокислый алюминий 30 г/л).

Перед цинкованием участок сращивания зачищают напильником и наждачной бумагой, промывают в 10%-ном растворе едкого натра и протирают досуха чистой ветошью. Цинкование проволоки производят при напряжении 12—24 В и токе 1,8 А в течение не менее 2 мин. Расстояние между электродами должно быть примерно равным 40 мм. Осадок цинка на оцинкованном участке должен быть плотным и гладким. Оцинкованная проволока в местах сварки должна выдержать не менее одного одноминутного погружения в раствор сернокислой меди. После цинкования участок сварки смазывают нейтральным техническим вазелином.

## 3.2. СКРУТКА ПОЛЫХ НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Полые неизолированные провода, поперечное сечение которых приведено на рис. 3.1, изготавливают алюминиевыми и медными. Провод скручивают из фасонных проволок (рис. 3.2). Сферические выступы проволок при скрутке входят в углубления соседних прово-



Рис. 3.1. Полый провод марок АП и МП.



Рис. 3.2. Фасонная проволока для полого провода.

лок, обжимаются в калибре, образуя полую трубу, имеющую некоторую гибкость благодаря подвижности образующихся своеобразных шарнирных соединений. Полый провод предназначен для соединений на открытых распределительных устройствах. Увеличенный наружный диаметр провода обеспечивает уменьшение интенсивности коронного разряда при рабочем напряжении.

Волочение фасонной алюминиевой или медной проволоки производят на волочительной машине через твердосплавные волокни, при помощи которых последовательно образуется требуемый профиль проволоки с установленными допусками.

Полые неизолированные провода скручивают на одноклетевой крутильной машине без открутки, имеющей 15 отдающих катушек. Проволоки с отдающих катушек диаметром 600 мм проходят через направляющие втулки с прямоугольными отверстиями. Перед выходным калибром машины укреплен сухарь с конусной заточкой. Фасонные проволоки перед входом в калибр располагают по поверхности сухаря, который передней частью входит вместе с проводом в калибр и в зазоре между сухарем и калибром происходит



обжатие внешних щек выточки вокруг сферического выступа. Для уменьшения усилия протягивания полого провода через калибр со вставленным изнутри сухарем непрерывно подают смазку. После выхода из калибра провод поступает на тяговое колесо диаметром 3 м, образуя три витка на конусной его поверхности, и затем провод принимают на приемный барабан диаметром 2500 мм с механизмом рядовой раскладки по поверхности шейки барабана.

### 3.3. СКРУТКА ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ РАЗЛИЧНОЙ ГИБКОСТИ

Действующими государственными стандартами предусмотрены токопроводящие жилы силовых кабелей (ГОСТ 18410-73), а также кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией — медные (по ГОСТ 11956-70) и алюминиевые (по ГОСТ 12137-66). Медные жилы предусмотрены четырех конструкций, а алюминиевые — трех конструкций по гибкости.

Государственным стандартом (ГОСТ 22483-77) медные и алюминиевые токопроводящие жилы, предназначенные для кабелей и проводов неподвижной прокладки, подразделяются на классы I, II и III, а для кабелей, проводов и шнуров подвижной прокладки — на классы IV, V и VI (табл. 3.1). Медная проволока диаметром до 0,15 мм, применяемая для изготовления токопроводящих жил, должна соответствовать марке ММ (отожженная) или МТ (неотожженная), а диаметром более 0,15 мм — марке ММ или МТ с последующим отжигом при совмещенных процессах. Алюминиевая проволока должна соответствовать маркам АМ, АПТ (полутвердая), АТ и АТп. Кроме того, для изготовления токопроводящих жил применяется медная или алюминиевая проволока диаметром свыше 10 мм, медная луженая проволока и фасонные (секторные и сегментные) жилы.

Проволоки должны быть скручены в стренгу<sup>1</sup> или в жилу правильной скруткой. Допускается пучковая скрутка проволок диаметром до 1,04 мм. Проволоки в жиле, стренге, а также стренги в жиле должны прилегать друг к другу. При правильной скрутке не допускается перекрещивание проволок или стренг, расположенных в одном повиве. В токопроводящих жилах класса V сечением 16 мм<sup>2</sup> и выше и жилах класса VI сечением 2,5 мм<sup>2</sup> и выше допускается отсутствие двух проволок

---

<sup>1</sup> Стренгой называется составная часть гибкой многопроволочной жилы, скрученная из нескольких проволок.

Конструкции токопроводящих медных и алюминиевых жил кабелей, проводов и шнуров  
(по ГОСТ 23483-77)

а) Для неподвижной прокладки

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Класс I			Класс II				Класс III			
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в круглой жиле	Минимальное количество проволок в фазной жиле		Расчетный диаметр круглой жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жилах	Расчетный диаметр жилы, мм
						медной	алюминис- вой				
0,03	0,20	1	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—
0,05	0,26	1	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—
0,08	0,32	1	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—
0,12	0,42	1	0,42	—	—	—	—	—	—	—	—
0,20	0,52	1	0,52	—	—	—	—	—	—	—	—
0,35	0,68	1	0,68	—	—	—	—	—	—	—	—
0,50	0,80	1	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—
0,75	0,97	1	0,97	0,37	7	—	—	1,11	—	—	—
1,00	1,13	1	1,13	0,40	7	—	—	1,20	—	—	—
1,50	1,38	1	1,38	0,50	7	—	—	1,50	—	—	—
2,50	1,78	1	1,78	0,67	7	—	—	2,01	—	—	—
4	2,25	1	2,25	0,85	7	—	—	2,55	—	—	—
6	2,76	1	2,76	1,04	7	—	—	3,12	0,64	19	3,20
10	3,57	1	3,57	1,35	7	—	—	4,05	1,04	12	4,32
10*	—	—	—	—	—	—	—	—	0,80	19	4,00
16	4,50	1	4,50	1,70	7	—	—	5,10	1,04	19	5,20
25	5,65	1	5,65	2,14	7	6	1	6,42	1,35	19	6,75
35	6,60	1	6,60	2,52	7	6	6	7,56	1,53	19	7,65

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Класс I			Класс II				Класс III			
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в круглой жиле	Минимальное количество проволок в фазонной жиле		Расчетный диаметр круглой жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жилах	Расчетный диаметр жилы, мм
						медной	алюминевой				
35*	—	—	—	—	—	—	—	—	1,10	37	7,70
50	3,02	7	9,06	1,48	19	15	6	8,90	1,53	27	9,41
50*	8,00	1	8,00	—	—	—	—	—	1,30	37	9,10
70	3,55	7	10,65	2,14	19	15	15	10,70	1,53	37	10,71
70*	9,42	1	9,42	—	—	—	—	—	1,20	61	10,80
95	10,95	1	10,95	2,52	19	15	15	12,60	1,78	37	12,46
95*	—	—	—	—	—	—	—	—	1,40	61	12,60
120	2,85	19	14,25	2,03	37	30	15	14,21	1,60	61	14,40
120*	12,28	1	12,28	—	—	—	—	—	—	—	—
120-2к	3,00	17	15,00	—	—	—	—	—	—	—	—
150	3,20	19	16,00	2,25	37	30	15	15,75	1,78	61	16,02
150*	13,68	1	13,68	—	—	—	—	—	—	—	—
150-2к	3,36	17	16,80	—	—	—	—	—	—	—	—
185	15,20	1	15,20	2,52	37	30	30	17,64	1,60	91	17,60
185-2к	2,59	35	18,13	—	—	—	—	—	—	—	—
240	2,85	37	19,95	2,25	61	53	30	20,25	—	—	—
240*	17,30	1	17,30	—	—	—	—	—	—	—	—
240-2к	2,95	35	20,65	—	—	—	—	—	—	—	—
300	3,20	37	22,40	2,52	61	53	30	22,68	—	—	—
300-2к	3,27	35	22,90	—	—	—	—	—	—	—	—
400	3,72	37	26,04	2,85	61	53	53	25,65	—	—	—
400-2к	3,81	35	26,67	—	—	—	—	—	—	—	—

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Класс I			Класс II					Класс III		
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в круглой жиле	Минимальное количество проволок в фазной жиле		Расчетный диаметр круглой жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жилах	Расчетный диаметр жилы, мм
						медной	алюминиевой				
500	3,20	61	28,80	3,20	61	53	53	28,80	—	—	—
500*	4,11	37	28,77	2,61	91	53	53	28,71	—	—	—
500-2r	3,30	59	29,70	—	—	—	—	—	—	—	—
500-2к*	4,23	35	29,61	—	—	—	—	—	—	—	—
625	3,61	61	32,49	2,51	127	114	114	32,63	—	—	—
625-2к	3,67	59	32,96	—	—	—	—	—	—	—	—
800	4,10	61	36,90	2,89	127	—	—	37,05	—	—	—
800*	—	—	—	3,34	91	—	—	36,74	—	—	—
800-2к	4,15	59	37,35	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	—	—	—	3,20	127	—	—	41,60	—	—	—

## б) Для подвижной прокладки

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Класс IV				Класс V				Класс VI			
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм
0,03	—	—	—	—	0,08	7	—	0,24	0,05	16	—	0,24
0,05	0,10	7	—	0,30	0,08	10	—	0,32	0,05	27	—	0,31
0,08	0,12	7	—	0,36	0,08	16	—	0,38	0,05	40	—	0,37

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Класс IV				Класс V				Класс VI			
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм
0,08*	—	—	—	—	0,10	10	—	0,40	—	—	—	—
0,12	0,15	7	—	0,45	0,10	15	—	0,47	0,08	24	—	0,48
0,20	0,20	7	—	0,60	0,12	19	—	0,60	0,08	37	—	0,56
0,20*	—	—	—	—	—	—	—	—	0,10	26	—	0,62
0,35	0,26	7	—	0,78	0,12	30	—	0,77	0,10	45	—	0,82
0,35*	—	—	—	—	0,15	19	—	0,75	—	—	—	—
0,50	0,30	7	—	0,90	0,20	16	—	0,94	0,15	28	—	0,96
0,75	0,30	11	—	1,25	0,20	24	—	1,20	0,15	42	—	1,20
0,75*	0,23	19	—	1,15	—	—	—	—	—	—	—	—
1,00	0,30	14	—	1,32	0,20	32	—	1,34	0,15	56	—	1,31
1,00*	0,26	19	—	1,30	—	—	—	—	—	—	—	—
1,50	0,40	12	—	1,66	0,25	30	—	1,60	0,15	85	5	2,03
1,50*	0,32	19	—	1,60	0,26	28	4 или пучок	1,88 или 1,67	—	—	—	—
2,50	0,40	20	—	2,12	0,25	50	—	2,10	0,15	140	7	2,39
2,50*	0,42	19	—	2,10	0,26	49	7 или пучок	2,34 или 2,19	—	—	—	—
4,00	0,50	20	—	2,65	0,30	56	7 или пучок	2,97 или 2,61	0,15	228	12	3,11
4,00*	0,52	19	—	2,60	0,32	49	7 или пучок	2,88 или 2,69	—	—	—	—
6,00	0,50	30	—	3,21	0,30	84	7	3,74	0,20	189	7	3,69
6,00*	0,40	49	7 или пучок	3,60 или 3,36	—	—	—	—	—	—	—	—

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Класс IV				Класс V				Класс VI			
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм
10	0,50	49	7 или пучок	4,50 или 4,21	0,40	80	10	5,28	0,20	324	12	5,10
10*	—	—	—	—	0,37	91	7	4,90	—	—	—	—
10*	—	—	—	—	0,30	140	7	4,77	—	—	—	—
16	0,60	56	7 или пучок	5,94 или 5,22	0,40	126	7	6,15	0,20	513	19	6,15
16*	0,64	49	7 или пучок	5,76 или 5,38	0,49	84	7	6,10	—	—	—	—
16	—	—	—	—	0,30	224	7	6,03	—	—	—	—
25	0,60	84	7	7,47	0,40	196	14	7,78	0,20	783	—	—
25*	0,80	49	7 или пучок	7,20 или 6,73	0,30	342	19	7,50	—	—	—	—
25	0,50	126	7	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—
35	0,67	98	7	8,86	0,40	267	12	9,96	—	—	—	—
35*	0,58	133	7	8,70	0,49	189	7(19)	9,04	0,20	1107	27	9,84
35	—	—	—	—	0,30	486	27	9,23	—	—	—	—
50	0,67	144	12	11,54	0,40	396	11	11,62	0,30	702	—	—
50*	0,68	140	7	10,80	0,49	266	19	10,80	—	—	—	—
70	0,67	192	12	13,07	0,50	360	12	13,25	0,30	999	37	12,92
70*	0,68	189	7(19)	10,20	0,58	266	19	12,79	—	—	—	—
95	0,67	266	19	14,77	0,50	475	19	15,38	0,30	1332	—	—
95*	0,80	189	7	14,76	0,58	361	19	14,50	—	—	—	—

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Класс IV				Класс V				Класс VI			
	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм	Номинальный диаметр проволоки, мм	Количество проволок в жиле	Количество стренг	Расчетный диаметр жилы, мм
120	0,67	342	19	16,75	0,50	608	19	16,75	0,30	1702	37	17,12
120*	0,77	266	19	16,98	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0,85	266	19	18,74	0,50	756	27	19,71	0,30	2109	37	18,90
150*	0,68	405	15	19,66	—	—	—	—	—	—	—	—
185	0,85	330	30	22,61	0,50	925	37	21,53	0,30	2590	37	20,37
185*	0,64	570	19	20,51	—	—	—	—	—	—	—	—
240	0,85	420	30	24,03	0,50	1221	37	23,45	0,30	3360	48	23,72
240*	0,64	732	12	23,90	—	—	—	—	—	—	—	—
300	0,85	518	37	26,24	0,50	1525	61	27,68	0,30	4270	61	26,19
300*	0,64	912	19	26,08	—	—	—	—	—	—	—	—
400	0,85	672	48	30,55	0,50	2013	61	30,15	—	—	—	—
400*	0,68	1083	19	30,60	—	—	—	—	—	—	—	—
500	0,85	854	61	33,74	0,60	1769	61	34,61	—	—	—	—

\* Не должны применяться для продукции, поставляемой на экспорт.

при числе проволок в жиле до 500, четырех проволок при 1000; шести проволок при 2000 и восьми проволок при числе проволок в жиле более 2000 при условии соответствия электрического сопротивления жил, указанному ГОСТ 22483-77.

Соседние повивы токопроводящих жил классов I—III должны быть скручены в противоположные стороны, а токопроводящих жил классов IV—VI в одну сторону, но допускается скрутка соседних повивов в противоположные стороны. Направление верхнего повива скрутки должно оговариваться в нормативно-технической документации на кабели и провода.

Шаги скрутки повивов жилы и проволок в стренгу должны быть не более приведенных в табл. 3.2. Шаги

Таблица 3.2

Максимальные шаги скрутки токопроводящих жил  
(по ГОСТ 22483-77)

Классы жил	Шаг скрутки, мм (не более)		
	внутреннего повива	наружного повива	проволок в стренгу
Скрутка в противоположные стороны			
I, II	35	18	—
III—VI	25	16	30
Скрутка в одну сторону			
IV	14	16	20
V	12	14	20
VI	12	14	16

скрутки одноповивных жил и жил пучковой скрутки должны соответствовать шагам скрутки наружного повива односторонней скрутки. Пайка и сварка однопроволочных жил должны производиться встык. Допускается пайка или сварка многопроволочных жил классов I—V сечением до 1,5 мм<sup>2</sup> в одном сечении, а сечением 2,5; 4 и 6 мм<sup>2</sup> — с разделением проволок или стренг не менее чем на две части. Недопустимость пайки или сварки в одном сечении должна быть оговорена в соответствующей нормативно-технической документации на кабели и провода. Пайка или сварка жил класса VI производится только вразгон. Применение кислот при пайке не допускается. Жилы не должны иметь заусенцев, режущих кромок, выпучивания и обрывов отдельных проволок.



Семипроволочные токопроводящие жилы сечением 10—70 мм<sup>2</sup> и 7-стренговые жилы сечением 6—25 мм<sup>2</sup> скручивают в сигарных машинах с отдающими катушками диаметром 400, 500 и 630 мм. Основные технические данные машин СР и СРН приведены в табл. 3.3.

19-проволочные жилы сечением 25—150 мм<sup>2</sup> и 19-стренговые жилы сечением 120—400 мм<sup>2</sup> могут скручиваться на сигарных машинах в два прохода — первоначально на машинах с семью отдающими катушками и затем накладывают повив из 12 волок (стренг) на машинах с 12 отдающими катушками или одновременно на последовательно установленных 7- и 12-катушечных машинах. Последний вариант является наиболее рациональным, так как последовательно установленные машины обслуживает один рабочий. 19-проволочные жилы могут скручиваться также на клетьевых машинах модель МКД (6+12)500, МКРД (6+12)500 или с другим количеством отдающих катушек. Производительность клетьевых машин в 2,5—3 раза меньше, чем сигарных, 37, 61 и 127-проволочные жилы сечением 95—1000 мм<sup>2</sup> скручивают на клетьевых машинах модели МКД или МКРД с отдающими катушками 400, 500 и 630 мм. Из-за меньшего диаметра клетки машины МКД ее частота вращения больше в 2—2,5 раза и соответственно производительность ее также больше в 2—2,5 раза. Длительная практика скрутки алюминиевых и медных жил на клетьевых машинах без открутки подтвердила практическую возможность скрутки любых алюминиевых и медных жил на этих машинах без каких-либо ограничений. Практикуют комбинированную скрутку 7—19-проволочных заготовок жил на сигарных машинах, а наложение последующих повивов на машинах клетьевого типа, но с клетями на (12+18+24) или (18+24+30) катушек. Длина этих машин короче, чем машин с клетями 6 или 6+12 отдающих катушек. В табл. 3.4 приведены технические данные машин МКД и МКРД. Производительность машин с отдающими катушками диаметром 400 мм (из-за большей частоты вращения клетки) выше, чем с катушками 500 и 630 мм, но длина проволоки на катушках диаметром 500 и 630 мм больше и соответственно больше продолжительность работы между сменой отдающих катушек. Технически целесообразным является одновременная заправка всех отдающих

## Технические данные крутильных машин сигарного типа

Фирма и страна	Модель машины	Диаметр скручиваемых проволок, мм	Шаг скрутки	Частота вращения ротора, об/мин	Диаметр отдающей катушки, мм	Диаметр приемной катушки, мм	Установленная мощность, кВт
СКЕТ (ГДР)	СРН6×100	0,25—0,35	5—20	3000	100	250—400	15
	СРН12×100	0,25—0,35	6—27	2200	100	250—400	18,5
	СРН6×160	0,30—0,45	8—27	2200	160	250—400	18,5
	СРН12×160	0,30—0,45	8—27	2200	160	250—400	30
	СРН6×200	0,25—0,80 (0,78—2,40*)	6—28	2200	200	250—400	37
	СР2-6×200	0,25—0,50	10—25	2500	200	400—760	35
	СРН12×200	0,25—0,80	10—48	2000	200	250—400	45
	СРН6×400	0,98—1,78 (0,8—4,0*)	30—135	1400	400	630—1600	55
	СРН12×400	0,98—1,78	35—230	120—1200	400	800—1600	70
	СРН6×500	1,50—2,76	48—215	100—1000	500	800—1600	90
	СРН12×500	1,50—2,76	90—400	До 950	500	800—1600	100
	СРН6×630	2,26—3,56	67—305	До 750	630	800—1600	123
	СРН12×630	2,26—3,56	66—300	До 750	630	800—1600	160
СРН6×800	4,4—6,5*	125—700	45—450	800	800—1600	160	
„Крупн“ (ФРГ)	6×1000	2,7—6,3	11—320	До 315	1000	2000	—

\* Диаметр скручиваемых изолированных жил.

Технические данные крутильных машин клетьевого типа фирмы СКЕТ (ГДР)

Таблица 3.

Модель машины	Диаметр, мм		Шаг скрутки, мм	Количество клетей	Частота вращения клетей, об/мин (не более), с числом катушек в клетн						Линейная скорость, м/мин
	скручиваемой проволоки, мм	жилы			6	12	18	24	30	36	
МКД											
(6+12) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	—	2	250	220	—	—	—	—	—
(6+18) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	40—750	2	250	—	200	—	—	—	10—60
(12+18) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	—	2	—	220	200	—	—	—	—
МК											
(6+12) 500	1,5—3,0	—	—	2	500	500	—	—	—	—	До 100
МКД											
(6+12+18) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	—	3	250	220	200	—	—	—	—
(6+18+24) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	—	3	—	220	200	—	—	—	—
(6+12+18+24) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	—	4	250	220	200	160	—	—	—
(18+24+30+36) 500	1,5—4,5	2,4—6,0	—	4	—	—	200	160	125	100	—
МКРД											
(6+12) 500	1,5—4,5	—	—	2	155	115	—	—	—	—	—
(12+18) 500	1,5—4,0	—	—	2	—	115	—	—	—	—	—
(18+24) 500	—	—	170—3400	2	—	—	115	—	—	—	—
(6+12) 400	0,8—1,8	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—
(6+12+18) 500	1,5—4,5	—	40—750	2	64—160	46—115	—	42—105	36—90	—	—
(6+12+18) 500	1,5—4,5	—	—	—	155	115	115	—	—	—	6—36
(12+18+24+30) 500	1,5—4,5	—	—	—	—	115	115	95	95	—	—

катушек с проволокой, имеющей в пределах допусков одинаковую длину. Во-первых, при одновременной заправке клетьевой машины всеми катушками одинаковой массы достигается сбалансирование машины. При заправке только части катушек создается неравномерная нагрузка на машину с биением в подшипниках, что приводит к преждевременному их износу. Во-вторых, при одновременной заправке машины отдающими катушками увеличивается время до остановки машины для смены катушки и, следовательно, увеличиваются машинное время и производительность машины. При заправке машины после схода проволоки с одной катушки производится ее замена со сваркой или пайкой проволоки на машине, для чего также расходуется значительное время. При одновременной заправке машины сварку проволок на машине можно исключить, заменив ее на сварку проволоки во время намотки катушек. В клетьевых машинах следят за исправностью направляющих втулок и текстолитовых разъемных калибров, не допуская образования металлической пыли. Приемные барабаны для жилы должны быть диаметром 1200—1600 мм для обеспечения длительной безостановочной работы последующих машин и агрегатов. Предпочтительно, чтобы отдающие барабаны были металлическими и в исправном состоянии.

Механизированная загрузка отдающих катушек позволила повысить производительность клетьевых машин. Фирма «Де Анжели» (Италия) выпускает машины жесткорамной конструкции (рис. 3.3) с пневматической загрузкой отдающих катушек (одновременно по 2—6 катушек).

7 и 19-проволочные жилы сечением 0,05—4,0 мм<sup>2</sup> скручивают на сигарных машинах с отдающими катушками 100, 160 и 200 мм или на машинах рамочного типа с приемными катушками 160, 200, 400, 600 и 630 мм. Жилы, скрученные на сигарных машинах, имеют правильное концентрическое размещение повивов и одинаковый диаметр по всей длине. Жилы, скрученные на машинах рамочного типа, снабженных тормозами, обеспечивающими равномерное натяжение отдельных проволок, и распределительными розетками для повивной укладки отдельных проволок, по диаметру и состоянию наружного повива приближаются к жилам, скрученным на сигарных машинах.

Технические данные машин сигарного типа с отдающими катушками 100—200 мм приведены в табл. 3.3. Для обеспечения частот вращения тела сигарной машины около 3000 об/мин его изготавливают хорошо сбалансированным. Уменьшение трения тела машины до-

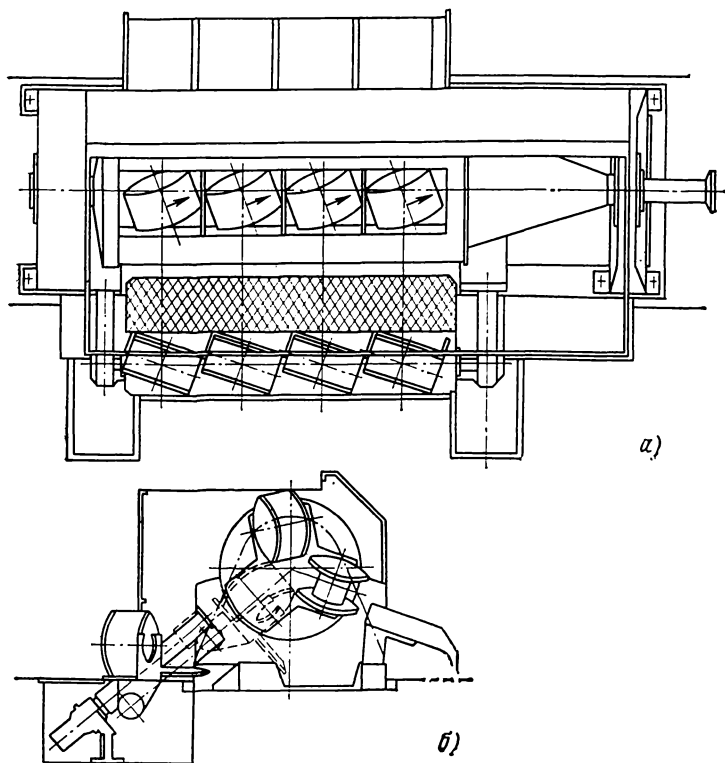


Рис. 3.3. Крутильная машина жесткорамной конструкции с групповой одновременной загрузкой и разгрузкой катушек.

*a* — клеть; *b* — схема загрузки.

стигается применением опорных роликов. Тело машины покоится в подшипниках скольжения, к нижней части которых подведен воздух под давлением, что обеспечивает легкость пуска и работы машины на воздушной подушке. Для сокращения площади некоторые модели сигарных машин выполнены двухходовыми на общей станине. Приемный механизм машины также сдвоенный

## Технические данные крутильных машин рамочного типа

Фирма и страна	Модель машины	Диаметр скручиваемых проволок, мм	Диаметр скручиваемой жилы, мм
„Дигеп“ (ВНР)	ДШЕ-2×20	0,05—0,80	0,25—1,8
	ДШЕ-40	0,10—0,65	3,8
	ДШЕ-63Е	1,80—3,36	3,8
	ДШЕ-63А	0,20—1,0	0,6—6,0
Завод кабельных машин (ПНР)	СДВ-160	0,05—0,15	До 1,0
	СДВ-400	0,15—0,50	До 2,6
	СДВ-630	0,20—0,50	До 3,2
СКЕТ (ГДР)	МСД-1250	1,7—4,5	2,4—5,2

с автономным приводом машины, каждый ход имеет тяговое колесо и приемный барабан.

Технические данные некоторых машин рамочного типа приведены в табл. 3.5. Машины рамочного типа предназначены для скрутки жил сечением до 25 мм<sup>2</sup> из 49 проволок. Упрощенные машины ЛК-2-Э (две машины на одной станине) имеют тяговый механизм и приемную катушку с раскладкой, вращающуюся рамку, по направляющим которой проходит пучок проволок. За один оборот рамки происходит одинарная скрутка жилы, непрерывно принимаемой на приемную катушку. В машинах ЛК-1-Э, ДШЕ-20 (также на одной станине два хода машины), ДШЕ-40 и ДШЕ-63 (ВНР) вокруг тягового механизма и приемной катушки с раскладкой вращается рамка, несущая пучок проволок. Ввиду того что пучок проволок совершает два поворота перед выходом на рамку и при сходе с рамки, за один ее оборот осуществляется двойная скрутка пучка проволок — жилы, которая принимается на приемную катушку. В машинах СДВ-400 (ПНР) установлены две рамки, вращающиеся навстречу, и по ним проходит пучок проволок, претерпевающий четыре перегиба. В результате пучок проволок (жила) за один проход подвергается четырехкратной скрутке. Если каждая рамка вращается с частотой 2000 об/мин, то частота скрутки жилы составит 8000 кручений в минуту.

Все модели машин имеют распределительные розетки с направляющими втулками по повивам (1+6+12), с помощью которых проволоки располагаются в пучке по повивам и проходят через твердосплавный калибр, а скрутка закрепляет положение проволок в жиле. При

Таблица 3.5

Шаг скрутки, мм	Частота вращения рамки, об/мин	Количество скруток, 1/мин	Линейная скорость, м/мин	Установленная мощность, кВт
4—40	1085—3250	2170—6500	16—168	3,6
8—80	700—2100	1400—4200	13—354	3,3—10
8—183	400—1200	800—2400	12—360	5—15
9—90	670—2000	1340—4000	12—360	3—15
5—16	2000	8000	35—130	2,2
12—60	1250	5000	60—300	10
12—60	1000	4000	48—200	22
50—72	90—450	180—900	До 200	30

отсутствии распределительной розетки, когда пучок проволок поступает непосредственно в калибр и проволоки находятся в нем в произвольном положении, диаметр жилы получается большим, чем при укладке по повивам. Исключительное значение имеет угол входа проволок в распределительную розетку. Он не должен превышать  $10^\circ$ , а проволоки не должны подвергаться трению о стенки направляющей втулки. При трении проволок, входящих под большим углом, происходит их нагартовка, различная в зависимости от натяжения проволоки. Для исключения нагартовки и удлинения пути пучка проволок в отдающем устройстве устанавливают направляющий валик на границе самых удаленных от машины катушек. Проволоку с катушки направляют на этот вал, с которого пучок проволок узким веером поступает в распределительную розетку (рис. 3.4).

Не существует единой системы отдающих устройств для машин рамочного типа. Тенденция к увеличению массы отдающей тары привела к внедрению безынерционных устройств, в которых катушку устанавливают на полу на щеку, и на верхнюю щеку надевают диск с закрепленной в нем щетиной по окружности или в канавке щеки катушки размещают капроновую нить. Над катушкой укрепляют ролик для направления проволоки. При остановке машины щетина (нить) служит тормозом, удерживающим проволоку от запутывания. При пуске машины, оборудованной безынерционными отдающими устройствами, не происходит характерного рывка проволок, поскольку они не обладают инерцией покоя и необходимо приложить лишь незначительное усилие для размотки проволоки с катушки.

Инерционные отдающие устройства на катушках массой до 1 кг, установленные на конусах, требуют незначительного усилия для размотки с катушек. Устройства вертикального типа на тарелках с тормозным ме-

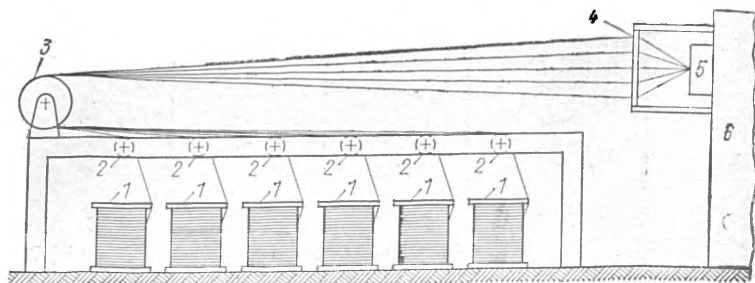


Рис. 3.4. Отдающее устройство машины рамочного типа (безынерционное с выносным валом).

1 -- отдающие катушки с проволокой; 2 -- направляющие ролики; 3 -- оборотный вал; 4 -- распределительная розетка; 5 -- ниппель; 6 -- крутильная машина.

ханизмом или горизонтального типа с тормозным рычагом для катушек массой 45 кг вызывают рывки при пуске машины для преодоления инерции покоя, в результате неизбежна местная вытяжка проволоки и затяжка витков проволоки на катушке. Осевые отдатчики с опорными шарикоподшипниками обладают теми же недостатками инерционности, особенно при отсутствии или неисправности тормозов.

На машинах рамочного типа скручивают жилы из различного количества проволок или скручивают стренги из 7—49 проволок, которые затем используют для скрутки гибких многопроволочных жил на сигарных или клетьевых машинах. Обычно гибкие жилы скручивают из стренг при взаимно противоположных направлениях повивов для получения более уравновешенной жилы, не раскручивающейся при растяжении. Повивы гибких жил кабелей с резиновой изоляцией с целью большей стойкости к перегибам скручивают в одном направлении. На машинах МСД-1250 возможна скрутка пучка из 144 проволок в жилу сечением до 50 мм<sup>2</sup>, поступающего с катушек диаметром 310 мм (масса 50 кг). Тормоза отдающего устройства на такой машине должны быть хорошо отрегулированы, чтобы не



было разматывания проволоки с катушки при остановке машины.

Жи́лы проводов для бортовой сети, межстоечного и внутриприборного монтажа изготавливают из оловянированной (луженой) медной проволоки на машинах рамочного типа. Скрутка жил из оловянированной медной проволоки ничем не отличается от скрутки жил из медной проволоки.

Большинство проводов для электрощеток (марок ПШ, ПШС) изготавливают из проволоки диаметром 0,05 и 0,07 мм, поэтому для уменьшения обрывности и облегчения размотки проволоки с катушек их скручивают из неотожженной проволоки. Первоначально из 12—46 проволок скручивают стренги, затем образуют пучки, из пучков скручивают провод. Стренги скручивают преимущественно на машинах рамочного типа ЛК-2-Э и ДШЕ-20 с приемом на катушки диаметром 200 мм. Эти катушки устанавливают в сигарные машины СР6/200 или СРН6/200 и стренги скручивают в пучки с приемом на катушки 400—630 мм. Пучки проволок перематывают на катушки диаметром 200 мм для машины СР6/200, СРН6/200, СР12/200 или СРН12/200, на которых скручивают пучки в готовый провод с приемом его в бухты (на разъемных катушках), которые затем подвергают отжигу в электропечах вакуумных или с атмосферой нейтрального газа. Было бы целесообразно провода сечением 2,5 мм<sup>2</sup> и выше скручивать на сигарных машинах с отдающими катушками 400 или 500 мм с использованием приемных катушек с машин диаметром 400—500 мм без перемотки.

На кабельных заводах сохранились также старые вертикальные клетьевые машины с 7 и 19 отдающими катушками диаметром 160 мм. Скрутка на них пучков и провода аналогична скрутке их на сигарных машинах. Производительность этих машин значительно ниже, чем сигарных машин.

#### **3.4. СКРУТКА ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ**

Токопроводящие жилы некоторых типов кабелей, например судовых, изготавливают герметизированными. Скрутку жил сечением до 6 мм<sup>2</sup> производят в машинах рамочного типа (ЛК-1-Э, ДШЕ-40 и ДШЕ-63), а жил сечением свыше 6 мм<sup>2</sup> в клетьевых машинах модели МКРД. Крутильные машины совмещают с экструдером, в ко-

тором на жилы накладывают специальный герметизирующий состав.

Семипроволочные герметизированные жилы и стренги изготавливают на машинах рамочного типа. На центральную проволоку жилы или стренги накладывают герметизирующий слой путем пропускания ее через экструдер и направляют в центральное отверстие распределительной розетки, а повив из шести негерметизированных проволок в шесть отверстий распределительной розетки (повив поверх герметизированной проволоки).

Многопроволочные жилы из отдельных проволок или стренг скручивают на клетьевой машине модели МКРД со встроенными экструдерами для наложения герметизирующего состава поверх центральной проволоки или стренги и поверх каждого промежуточного повива жилы (на внешний повив герметизирующий состав не накладывают). Головка экструдера должна иметь вращающийся конус для обеспечения более тщательной герметизации жилы.

Токопроводящие жилы должны быть скручены по системе правильной (повивной) скрутки. Жилы кабелей для подвижной прокладки скручивают в одном направлении, а для неподвижной прокладки — в противоположном направлении (допускается применение также жил односторонней скрутки). Натяжение проволок при скрутке в жилу сечением  $0,35 \text{ мм}^2$  не должно превышать  $2 \text{ Н}$ ; жилу  $0,5 \text{ мм}^2$  —  $2,5 \text{ Н}$ , жилу  $0,75 \text{ мм}^2$  —  $3 \text{ Н}$ , жилу  $1,0 \text{ мм}^2$  —  $4,9 \text{ Н}$ , а в жилы сечениями  $1,5$ ;  $2,5$  и  $4 \text{ мм}^2$  —  $7,9$ ;  $13,7$  и  $21,6 \text{ Н}$ . Не допускается перекрещивание проволок в жиле. Шаг скрутки проволок в жилу внутренних повивов должен быть не менее  $14d$ , а наружных повивов —  $12d$ , где  $d$  — диаметр кабеля.

Каждая клеть крутильной машины должна быть оборудована калорифером для подогрева герметизирующего состава. Проволоки, предназначенные для скрутки на клетьевых машинах, наматывают на отдающие катушки этих машин. Намотка проволоки должна быть равной, рядовой, плотной в одной длине. Эти катушки устанавливают в люльки клетьевых машин и регулируют их торможение для достижения равномерности натяжения и заправляют в направляющие втулки и отверстия распределительной розетки.

Скрутку проволок в жилу при производстве кабелей с резиновой изоляцией производят при температуре цилиндра экструдера  $50 \pm 10^\circ\text{C}$  и головки экструдера  $70 \pm 10^\circ\text{C}$ , а кабелей с пластмассовой изоляцией соответственно  $80 \pm 15$  и  $90 \pm 15^\circ\text{C}$ . В полую ось клетки крутильной машины подают горячий воздух через калорифер под давлением не менее  $196 \text{ кПа}$  и при температуре  $100$ — $110^\circ\text{C}$ . Герметизирующий состав во время скрутки проволок в жилу должен заполнить все промежутки между проволоками.

### **3.5. СКРУТКА КРУГЛЫХ И ФАСОННЫХ ЖИЛ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ. УПЛОТНЕНИЕ ЖИЛ**

Жилы силовых кабелей напряжением  $1$ — $35 \text{ кВ}$  изготавливаются круглой и фасонной формы (секторные или сегментные). Если сечение круглой медной жилы не превышает  $95 \text{ мм}^2$  и алюминиевой  $240 \text{ мм}^2$ , то жилы могут изготавливаться однопроволочны-

ми. Секторные и сегментные медные жилы в однопроволочном исполнении выпускаются в диапазоне сечений от 25 до 50 мм<sup>2</sup> и алюминиевые жилы — от 25 до 240 мм<sup>2</sup>.

Наряду с однопроволочными в указанном диапазоне сечений выпускаются также и многопроволочные жилы, т. е. жилы, скрученные из отдельных круглых проволок. Жилы больших сечений для увеличения их гибкости изготавливаются только многопроволочными. Скрутку круглых жил производят по системе правильной скрутки, причем направление скрутки последнего повива — правое, остальные повивы имеют чередующиеся направления. Шаг скрутки внутренних повивов должен составлять не более 24 диаметров по повиву, а внешних должен находиться в пределах 12,5—16 диаметров жилы. Последнее соотношение относится также к жилам фасонной формы, при этом в расчет принимается эквивалентных диаметр жилы.

Диаметр отдельных проволок, их число, а также количество повивов зависят от сечения скручиваемой жилы. Обычно диаметр отдельных проволок колеблется в диапазоне 2,14—4,15 мм, а количество проволок в жиле может достигать 91 (жила сечением 800 мм<sup>2</sup> из отдельных скручиваемых проволок диаметром 3,34 мм).

Скрутку круглых жил обычно производят на крутильных машинах клетьевого или дискового типа.

Жилы больших сечений с числом повивов более четырех скручивают в два прохода. Сначала скручивают 7-проволочную заготовку на быстроходных крутильных машинах сигарного типа. Дальнейшая скрутка производится на четырехклетьевой крутильной машине с использованием вместо центральной проволоки 7-проволочной заготовки.

Следует отметить, что коэффициент заполнения многопроволочных круглых жил невелик. На практике он составляет 74—76% при числе повивов более двух. Поэтому на некоторых кабельных заводах и в зарубежной практике используют для силовых кабелей уплотненные круглые жилы. Уплотнение производится путем обжатия жилы во вращающихся вальцах, размещающихся непосредственно в крутильных машинах. Если обжатие жилы производить по каждому повиву, то можно получить коэффициент заполнения,

близкий к 0,9. Уплотненные жилы позволяют уменьшить наружные размеры кабелей, при этом экономия на материалах достигает 5—10%. Поверхность уплотненных жил становится более гладкой, за счет чего уменьшается эффект проволочности и достигается более плотное прилегание электропроводящего экрана к жиле,

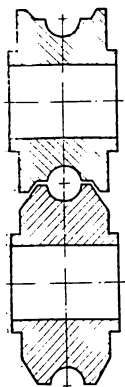


Рис. 3.5. Вальцы для уплотнения круглых жил.

что особенно важно для кабелей с пластмассовой изоляцией. В кабелях с бумажной пропитанной изоляцией уплотненные жилы позволяют уменьшить количество пропиточного состава в кабеле и ограничивают его перемещение вдоль кабеля при прокладке по вертикальным и наклонным трассам.

Однако уплотнение жил приводит к явлению нагартовки проволок, при этом несколько увеличивается их электрическое сопротивление. Кроме того, в процессе уплотнения происходит значительная вытяжка проволок. В жилах больших сечений вытяжка проволоки может достигать 10% и более. Это приводит к уменьшению сечения жилы после обжатия, что следует учитывать при конструировании уплотненных жил.

Уплотнение круглых медных и алюминиевых жил производится по повивам с помощью трех пар последовательно установленных уплотняющих вальцов (рис. 3.5).

Первая пара вальцов производит предварительное обжатие, придавая жиле форму эллипса, вторая пара вальцов доводит жилу до нужного размера и третья предназначена для чистовой обработки поверхности жилы. Такая система уплотнения позволяет получить коэффициент заполнения 0,9—0,91. Конструкция и размеры некоторых уплотненных жил приведены в табл. 3.6.

Фасонные многопроволочные жилы получают путем скрутки соответствующей заготовки с последующим ее обжатием с целью получения нужной формы и размеров. Например, секторные жилы трехжильного кабеля с поясной изоляцией получают после обжатия заготовок, показанных на рис. 3.6, а (жила сечением до 70 мм<sup>2</sup>) и рис. 3.6, б (жилы сечением 95 мм<sup>2</sup>). Систему

## Конструкция и размеры уплотненных круглых жил

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Конструкция жилы		Расчетный диаметр уплотненной жилы, мм		
	Число проволок по повивам	Диаметр проволоки, мм	I повив	II повив	III повив
50	$\frac{1}{6+12}$	$\frac{2,24}{1,9}$	5,5	8,50	—
120	$\frac{1}{6+12}$	$\frac{3,25}{2,9}$	8,6	13,4	—
185	$\frac{1}{6+12+18}$	$\frac{2,9}{2,6}$	7,6	12,15	16,8

скрутки заготовки, представленной на рис. 3.6, *a*, можно обозначить 6+12, а на рис. 3.6, *б* — 9+15. Здесь цифры обозначают количество проволок в повиве. Си-

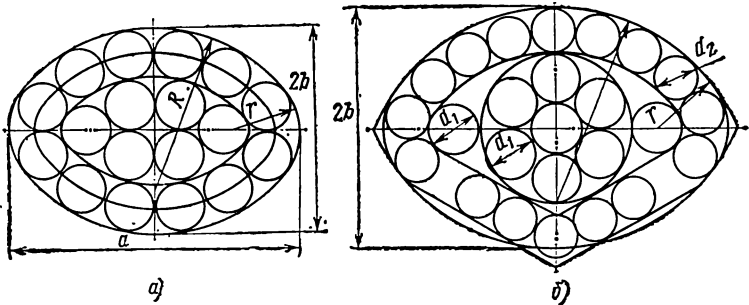


Рис. 3.6. Конструкции заготовок секторных жил сечением до 70 мм<sup>2</sup> (а) и сечением 95 мм<sup>2</sup> (б).

стема 6+12 представляет собой сердечник из 6 проволок, расположенных параллельно, и один повив из 12 проволок того же диаметра. Система 9+15 состоит из сердечника, включающего скрученную 7-проволочную заготовку и две параллельные проволоки, и повива из 15 проволок. Жилы больших сечений имеют увеличенное число повивов. Например, жилы сечением 150—240 мм<sup>2</sup> могут иметь систему скрутки 9+15+21. Проволоки, образующие сердечник заготовки, могут иметь не-

сколько больший диаметр по сравнению с проволоками последующих повивов.

В настоящее время уплотнение жил сечением до  $150 \text{ мм}^2$  включительно производится только по послед-

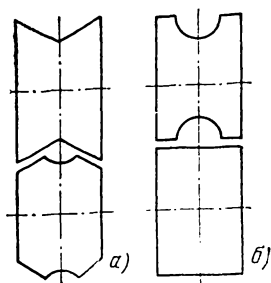


Рис. 3.7. Профили секторных (а) и сегментных (б) уплотняющих вальцов.

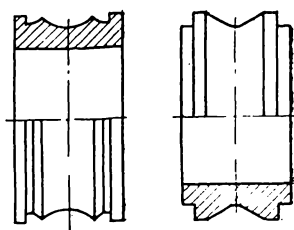


Рис. 3.8. Профиль секторных вальцов закрытого типа.

нему повиву с помощью профилирующих уплотняющих вальцов (рис. 3.7). Такая система позволяет получить коэффициент заполнения жилы не более  $0,83—0,86$ . При

больших обжатиях значительно увеличивается нагартовка проволок последнего повива и повреждается их поверхность. Поэтому для получения больших коэффициентов заполнения необходимо производить уплотнение по каждому повиву.

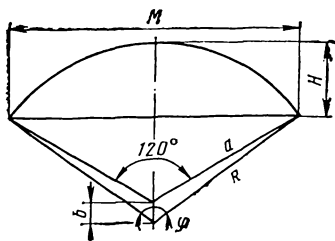


Рис. 3.9. К расчету профиля уплотняющих вальцов секторных жил трехжильного кабеля.

Для этих целей применяются уплотняющие вальцы с принудительным вращением (рис. 3.8). Закрытая форма вальцов уменьшает количество таких дефектов на

поверхности жилы, как риски, заусенцы, а принудительное вращение позволяет увеличить усилие обжатия.

Секторные жилы сечением  $150—240 \text{ мм}^2$  иногда предварительно подкручивают. Предварительно подкрученная жила имеет вид спирали, шаг которой равен

шагу последующей скрутки изолированных жил в кабель. Кабели с бумажной изоляцией, скрученные из предварительно подкрученных жил, имеют более качественную изоляцию, так как при общей скрутке не происходит смещение или сминание бумажных лент фазной изоляции. Подкручивающее устройство обычно конструктивно соединяется с уплотняющими вальцами. В этом случае уплотняющие вальцы помимо вращения вокруг собственной оси вращаются также вокруг оси спирали, по которой происходит закрутка жилы.

Геометрические размеры фасонных жил определяются размерами калибра, в котором происходит скрутка жилы, а также размерами профиля уплотняющих вальцов. Примерный расчет профиля уплотняющих вальцов для секторных жил трехжильного кабеля производится следующим образом (рис. 3.9).

Если задано номинальное сечение скручиваемой жилы  $S_{\text{н}}$ , то сечение вальцов в свету  $S_{\text{в}}$  можно определить по формуле

$$S_{\text{в}} = S_{\text{н}} k_{\text{в}} / \eta, \quad (3.1)$$

где  $\eta$  — заданный коэффициент уплотнения жилы;  $k_{\text{в}}$  — коэффициент вытяжки (1,04—1,05).

Сторона сектора вальцов  $a$  рассчитывается по приближенной формуле

$$a \approx \sqrt{S_{\text{в}}}. \quad (3.2)$$

Радиус дуги сектора  $R$ , его ширина  $M$  и высота  $H$  могут быть определены из простых геометрических соотношений по формулам:

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{a^2 + b^2 + ab}; \\ M &= 1,73 a; \\ H &= R - \frac{a}{2} - b. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Размер  $b$  зависит от толщины фазной изоляции изготавливаемого кабеля и для кабелей 1—10 кВ находится в пределах 1,6—1,8 мм. Смещение центра сектора и его дуги, обозначенное  $b$ , необходимо для того, чтобы после скрутки изолированных жил в кабель последний имел строго цилиндрическую поверхность. При вычислении размеров  $M$  и  $H$  по (3.3) следует учитывать

также зазор между валками, т. е.  $M$  и  $H$  следует уменьшить на этот зазор (около 0,2 мм).

Учитывая, что расчеты геометрических размеров сектора велись приближенно, следует произвести проверочные расчеты по (3.4) и (3.5):

$$S_{\text{в}}^* = \frac{\pi R^2 \varphi}{360} - \frac{\sqrt{3}}{2} ab, \quad (3.4)$$

где

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{a}{R};$$

$$\eta^* = S_{\text{н}} k_{\text{в}} / S_{\text{в}}^*. \quad (3.5)$$

Значение  $\eta^*$  должно находиться в пределах 0,83—0,86, в противном случае следует скорректировать величину  $a$  и вновь произвести расчет. Перед уплотняющими вальцами устанавливаются два неподвижных калибра. В первом калибре, имеющем круглую форму, происходит скрутка проволоки. Диаметр первого калибра выбирается на  $2d$  больше, чем ширина сектора предыдущего повива ( $d$  — диаметр скручиваемых проволок). Второй калибр имеет секторную форму — в нем скрученной жиле придается форма сектора. Геометрические размеры калибра соответствуют геометрическим размерам данного повива до уплотнения.

Так, для системы скрутки 9+15 (см. рис. 3.6,б) размеры второго калибра можно определить по формулам:

$$R \approx 4d; \quad M \approx 7d; \quad H \approx 5,38d.$$

### 3.6. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДНОПРОВОЛОЧНЫХ КРУГЛЫХ И ФАСОННЫХ ЖИЛ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

В последнее время все больше находят применение однопроволочные круглые и фасонные жилы, что снижает трудоемкость изготовления жил на кабельных заводах. Например, однопроволочные алюминиевые жилы можно получить методом прессования, при этом отпадают такие операции, как волочение проволоки и скрутка жилы. Однопроволочные жилы имеют гладкую поверхность, их коэффициент заполнения равен единице.

Однако применение таких жил несколько уменьшает гибкость кабелей и усложняет их монтаж, что ограни-



чивает их применение. Однопроволочные медные жилы получают из круглой заготовки на волочильных машинах; однопроволочные алюминиевые жилы можно получать с помощью волочения, но наиболее перспективным является метод горячего прессования. Волочение медных круглых жил сечением до 25 мм<sup>2</sup> проводится на волочильных машинах со скольжением (например, типов СМВ1-5, СМВ1-9М), алюминиевых круглых жил тех же размеров — как на машинах со скольжением, так и на машинах без скольжения (типов ВМА-6, ВН-6). Волочение медных и алюминиевых фасонных жил и круглых жил сечением более 25 мм<sup>2</sup> производится из круглой заготовки диаметром 9—18 мм в машинах со скольжением типа СМВ1-5М. Скорость волочения и тип машины приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

**Рекомендуемые скорости волочения**

Материал жилы	Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Форма жилы	Тип машины	Скорость волочения, м/с
Медь, алюминий	16—25	Круглая	СМВ1-9М	3,25—4,84
То же	35—50	"	СМВ1-5М	2,28—2,97
" "	70—120	"	СМВ1-5М	1,35—1,68
" "	25—50	Фасонная	СМВ1-5М	1,68—2,28
Алюминий	70—120	"	СМВ1-5М	1,0—1,35

После волочения жила обязательно подвергается отжигу либо с помощью приставки индукционного отжига непрерывного типа, которая устанавливается последовательно с волочильной машиной, либо в специальных печах. Отжиг необходим для снятия механических напряжений в металле и увеличения эластичности и электрической проводимости жилы. Отжиг алюминиевой жилы производится в электропечах без защитной атмосферы (например, в колпаковых печах типа СЗП-323Н, в колодцевых печах или печах с выдвижным подом) при 400—560°С (в зависимости от сечения жилы) в течение 1—5 ч.

Отжиг медной жилы производится в печах типа ОКБ-3003 с защитной атмосферой в виде водяного пара или вакуумных печах сухого светлого отжига колодцевого или колпакового типа при 350—650°С в течение 1—5 ч или с помощью установки индукционного отжига по режимам, приведенным в табл. 3.8.

## Режимы отжига медных жил

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Скорость отжига, м/мин	Плотность тока отжига, А/мм <sup>2</sup>
25	11,8	1400—1500
35	11,8	1900—2100
50	10,3	2500—2700

Прессование однопроволочных алюминиевых жил обеспечивает высокую чистоту поверхности. Последующий отжиг в этом случае не требуется.

На кабельных заводах алюминиевые однопроволочные жилы изготавливаются на гидравлических прессах, предназначенных для наложения алюминиевых оболочек на кабели (прессы моделей ВК-3, П958, УЗТМ и западногерманской фирмы «Шлёман»). При этом в головке пресса устанавливаются матрица, соответствующая размерам и конфигурации прессуемой жилы, и дорн без внутреннего отверстия. В контейнеры гидравлического пресса вставляют предварительно нагреты слитки. Температура головки при прессовании жил составляет 425—480°C. Прессование ведется со скоростью 50—80 м/мин. Однако использование гидравлических прессов, предназначенных для прессования оболочек, нерационально, поэтому в ближайшее время заводы будут оборудованы специализированными прессами типа ПО741, предназначенными для горячего прессования алюминиевых жил различного профиля. Такие прессы значительно проще прессов для наложения оболочек, так как направление прессования совпадает с направлением истечения металла, они имеют меньшие габариты и проще в обслуживании.

Как показывает опыт зарубежных фирм, весьма перспективным является получение однопроволочных жил методом непрерывного литья и проката (НЛП). Изготовление таких жил производится на металлургических заводах, что позволяет на кабельных заводах сократить ряд технологических процессов: прессование или волочение и последующий отжиг жил.

Форма сплошных жил должна выбираться таким образом, чтобы после изолирования и скрутки жил в кабель последний имел гладкую цилиндрическую поверх-

ность. Для этого необходимо, чтобы радиус дуги сектора или сегмента был равен радиусу кабеля по скрутке за вычетом толщины изоляции жил. Однако выполнение этого условия связано с определенными трудностями. Толщина изоляции кабелей 1—10 кВ сечением 25—300 мм<sup>2</sup> колеблется в пределах 0,75—2,75 мм. При этом на каждое сечение жилы следовало бы изготовить столько калибрующих инструментов (волокон или матриц), сколько толщин фазной изоляции. Практически ориентируются на некоторый средний размер, например толщину фазной изоляции принимают равной 1 мм для жил сечений 25—50 мм<sup>2</sup> и 1,8 мм для жил сечений 70—300 мм<sup>2</sup>.

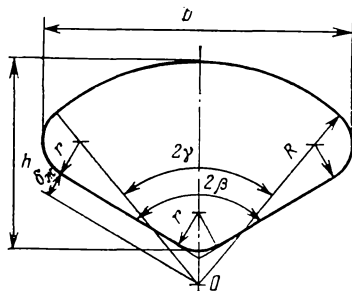


Рис. 3.10. Профиль секторной жилы.

Для уменьшения межжильных пространств радиус закругления ребер должен выбираться по возможности минимальным. Рассмотрим пример расчета профиля секторных жил. Основные размеры жилы можно вычислить из анализа геометрических фигур, на которые разбит сектор (рис. 3.10). Для предварительных расчетов радиус дуги сектора  $R$  может быть приближенно определен по формуле

$$R = \sqrt{1,01S_n} + \delta_{ж}, \quad (3.6)$$

где  $\delta_{ж}$  — толщина изоляции жил;  $S_n$  — номинальное сечение жилы, причем коэффициент 1,01 учитывает вытяжку жилы при изолировании.

Радиус закругления  $r$  выбирается из соображений электрической прочности кабеля с учетом допустимых рабочих напряженностей электрического поля на поверхности жилы. Минимальные радиусы закругления, которые можно получить при современной технологии изготовления медных и алюминиевых жил, следующие:

Сечение жилы,										
мм <sup>2</sup> . . .	. 25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
$r_{\text{мин}}$ , мм	. 1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8

Угол  $\gamma$  (вспомогательный угол сектора)

$$\gamma = \beta - \arcsin \frac{r + \delta_{ж}}{R - r}; \quad (3.7)$$

ширина сектора

$$b = 2((R - r) \sin \gamma + r); \quad (3.8)$$

высота сектора

$$h = R + r - \frac{r + \delta_{ж}}{\sin \beta}. \quad (3.9)$$

Площадь сплошной секторной жилы можно рассчитать, суммируя элементарные фигуры, на которые следует разбить сектор:

$$S = \left( \frac{\pi \gamma}{180} - \frac{1}{2} \sin 2\gamma \right) (R^2 - r^2) + \pi r^2 + 2ar \left( \cos \gamma + \frac{1}{\sin \beta} \right) + a^2 \operatorname{ctg} \beta, \quad (3.10)$$

где

$$a = \frac{b - 2r}{2} (R - r) \sin \gamma.$$

Если площадь сектора при выбранном радиусе  $R$  окажется близка к номинальному значению  $S_n$ , то расчет окончен. Если полученная площадь значительно отличается от заданной, то расчет следует повторить, изменив значение  $R$ . Таким образом, расчет профиля сектора должен вестись методом последовательных приближений. При этом вычисления получаются громоздкими и без применения ЭВМ занимают много времени. Поэтому лучше воспользоваться графоаналитическим методом расчета секторных жил [27].

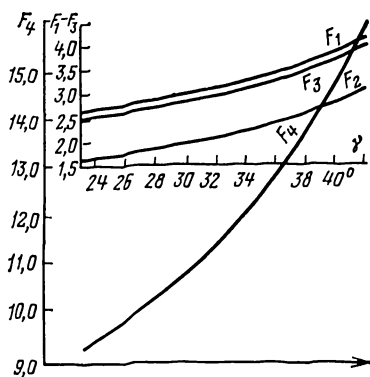


Рис. 3.11. Зависимость геометрических факторов  $F_1$ — $F_4$  от  $\gamma$  для трехжильного кабеля.

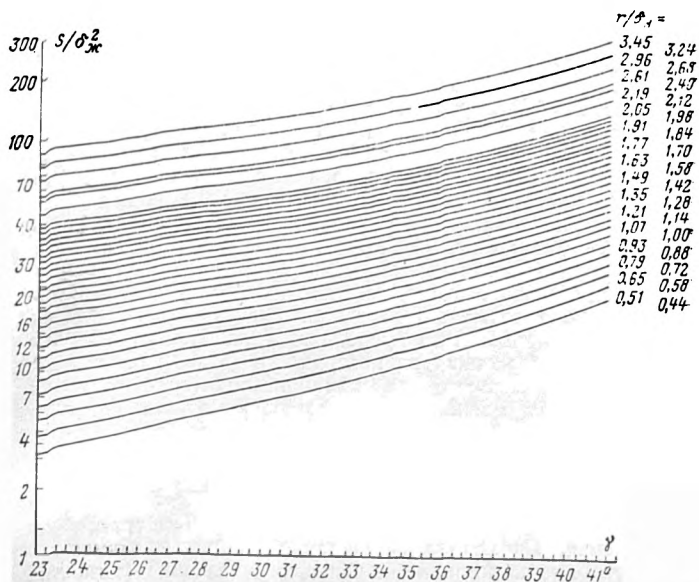


Рис. 3.12. Зависимость  $S/\delta_{jk}^2 = f(\gamma)$  для трехжильного кабеля.

Сложные геометрические соотношения здесь сводятся к следующим формулам:

$$R = \delta_{jk} \left[ F_1 \left( 1 + \frac{r}{\delta_{jk}} \right) - 1 \right], \quad (3.11)$$

$$b = 2\delta_{jk} \left[ F_2 \left( 1 + \frac{r}{\delta_{jk}} \right) - 1 \right]; \quad (3.12)$$

$$h = \delta_{jk} \left[ F_3 \left( 1 + \frac{r}{\delta_{jk}} \right) - 2 \right]. \quad (3.13)$$

В выражениях (3.11) — (3.13)  $F_1, F_2, F_3$  — геометрические факторы которые являются функцией переменных  $\beta$  и  $\gamma$ . Для трехжильного кабеля ( $\beta=60^\circ$ ) зависимости  $F_1-F_3=f(\gamma)$  приведены на рис. 3.11. Для зависимости  $\frac{S}{\delta_{jk}^2} = f(\gamma)$  для трехжильного кабеля вычислены кривые, приведенные на рис. 3.12, которыми следует воспользоваться для выбора угла  $\gamma$ . Периметр сектора  $L = \delta_{jk} [F_4 (1 + r/\delta_{jk}) - 6,28]$ .

### 3.7. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ

В Советском Союзе на напряжения 110—500 кВ выпускаются маслонаполненные кабели низкого давления типа МНСК и высокого давления марки МВДТ с медными жилами сечением от 120 до 800 мм<sup>2</sup>. Жилы кабелей низкого давления имеют в центре канал для масла (рис. 3.13). Жилы кабелей высокого давления (маслонаполненные кабели в стальной трубе с маслом под давлением) не имеют в центре канала и скручиваются из круглых проволок правильной скруткой (рис. 3.14).

Основной особенностью технологических процессов изготовления жил для высоковольтных кабелей является соблюдение повышенной чистоты водочения проволоки и скрутки жилы. Для скрутки жил должна применяться проволока, очищенная от волоочильной эмульсии и не содержащая на поверхности грязи и пыли. Скрутка жил для кабелей высокого давления производится с откруткой на четырех клетевых машинах с использованием для больших сечений 7-проволочной заготовки. Машина снабжается комплектом стальных хромированных калибров, что препятствует образованию рисок и других повреждений на поверхности проволоки при скрутке. После изготовления жила обматывается несколькими слоями кабельной бумаги для защиты от загрязнения при транспортировке и хранении. Перед изолированием эти бумаги снимаются.

Токпроводящие жилы кабелей низкого давления (типа МНСК) изготавливаются из фасонных медных проволок, что позволяет получить полую жилу. Первый повив такой жилы состоит из Z-образных проволок, начиная с сечения 240 мм<sup>2</sup> жилы

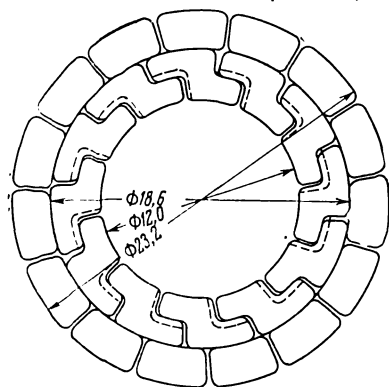


Рис. 3.13. Жилы маслонаполненно-то кабеля низкого давления.

имеют второй повив из сегментных проволок. Жила сечением 800 мм<sup>2</sup> имеет два повива из сегментных проволок. Размеры и число проволок зависят от сечения скручиваемой жилы. Для облегчения циркуляции масла из внутреннего канала в изоляцию проволоки имеют на поверхности насечки. Для обеспечения большей чистоты поверхности, а также для исключения соприкосновения изоляционного масла в кабеле с медью, которая ускоряет процесс старения масла, проволоки лудятся. Скрутка жилы из фасонных проволок производится на четырехклетевых машинах, причем последние две клетки, однако скрутка производится без открутки, чтобы получить необходимую форму жилы. Для облегчения процесса скрутки в отверстия распределительных розеток вставляются разъемные фасонные ниппели с хромированной внутренней поверхностью. Фасонной проволоке, сходящей с катушки, перед входом в калибр, где осуществляется скрутка, дается

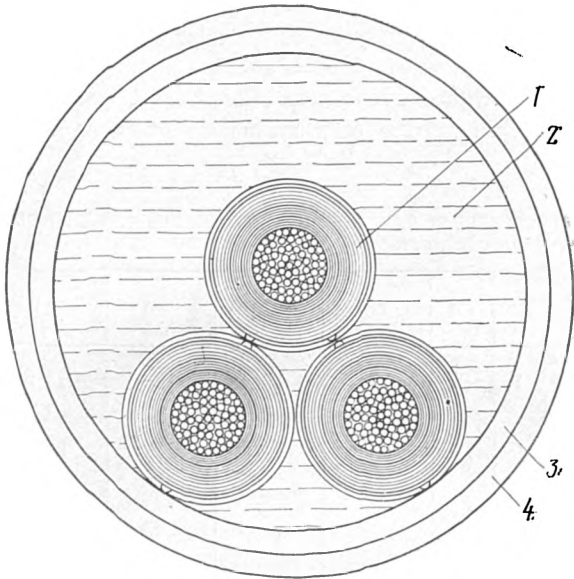


Рис. 3.14. Жила маслonaполненного кабеля высокого давления.  
1 — изоляция жилы; 2 — масло; 3 — стальная труба; 4 — защитные покрытия.

подкрутка на 1 оборот при помощи поворота втулки в распределительной розетке. Машинна также должна снабжаться комплектом стальных хромированных калибров для скрутки. Для образования центрального канала в жиле используется специальное приспособление — дорн, представляющий собой стержень, закрепленный внутри полого вала той клетки, на которой осуществляется скрутка первого повива.

Технологические параметры жил кабелей высокого давления (наружный диаметр  $D$ , количество повивов  $\nu$ , количество проволок в повивах  $n$ , а также общее количество проволок в жиле  $N$ ) можно рассчитать, используя законы нормальной правильной скрутки (рис. 3.15)

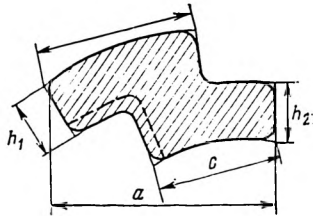


Рис. 3.15. Сечение Z-образной медной луженой проволоки для жил кабелей среднего давления.

$$a=5,95 \div 6,15; \quad b=4,25 \div 4,30; \quad c=2,95 \div 3,20; \quad h_1=h_2=1,5 \div 1,7.$$

$$\left. \begin{aligned} D &= (2\nu - 1) d; \\ n &= 7 + 6(\nu - 2); \\ N &= 3n(\nu - 1) + 1, \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

где  $d$  — диаметр скручиваемых проволок.

При этом следует учитывать, что коэффициент заполнения неуплотненных круглых жил близок к 0,75; следовательно, сечение жилы  $S_r$ , по которому можно определить наружный диаметр жилы  $D$ , увеличивается по отношению к номинальному:

$$S_r = S_n / 0,75.$$

Выбор размеров и количества проволок в жилах маслonaполненных кабелей низкого давления производится по табл. 3.9.

Таблица 3.9

Размеры элементов конструкции жил маслonaполненных кабелей низкого давления

Сечение жил, мм <sup>2</sup>	120	150	240	300	400	500	625, 800
Диаметр канала, мм	10	12	12,4	12,4	12,4	14,5	14,5
Число Z-образных проволок	10	12	12	12	12	14	14
Высота Z-образных проволок $h_1 + h_2$ , мм	3,2	3,45	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Высота сегментных проволок, мм	—	—	1,6—1,7	2,6—3,0	3,9—4,1	2,1—2,4	2,6—3,0

## Глава четвертая

# НАЛОЖЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ МЕТОДОМ ОБМОТКИ

## 4.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБМОТКИ

В кабельной технике понятию «обмотка» придается двоякий смысл. Под обмоткой понимается элемент конструкции кабеля или провода, представляющий собой покров из наложенных по винтовой спирали лент нитей, проволок. В то же время обмотка является тех



нологическим процессом спирального наложения упомянутых лент, нитей, проволок. Методом обмотки накладываются изоляция из бумажных, пластмассовых и синтетических лент, а также из натуральных и синтетических волокон на токопроводящие жилы кабелей и проводов, поясная изоляция, экраны из металлических, металлизированных бумажных и металлопластмассовых лент, броня из стальных лент и слои наружных защитных покровов из бумажных или пластмассовых лент и волокон (кабельной пряжи, стекловолокна).

Спиральная обмотка осуществляется, как правило, путем вращения ленты (нити) вокруг обматываемого изделия (токопроводящей жилы, скрученного сердечника и др.) при одновременном поступательном движении последнего (рис. 4.1,а). Существуют три принципиально различных метода наложения спиральной обмотки (рис. 4.1,б):

1. Обмотка встык, при которой края соседних витков ленты или пряди волокон соприкасаются. Методом обмотки встык накладывается волокнистая изоляция на токопроводящую жилу обмоточных проводов. Для обмотки лентами этот способ в подавляющем большинстве случаев непригоден, так как при изгибах кабеля или провода витки ленты, расположенные с его внутренней по отношению к центру изгиба стороны, выпучиваются и задираются, а витки, расположенные с наружной стороны, расходятся. Обмотка встык может применяться лишь при наложении пленочной изоляции с подклейкой; тогда возникновение вышеуказанных дефектов будет затруднено.

2. Обмотка с перекрытием, при которой каждый виток ленты перекрывает часть предыдущего витка. Применяется чаще всего при наложении одно- или двухслойной изоляции, например изоляции на жилы кабелей связи, поясной изоляции, экранов. При большом числе слоев такая обмотка не обладает достаточной гибкостью. При изгибе кабеля витки ленты, плотно зажатые по краям, могут разрываться.

3. Обмотка с зазором, при которой между соседними витками одной и той же ленты имеется небольшой по сравнению с шириной ленты зазор. Подобный способ обмотки является основным при наложении многослойной фазной и поясной изоляции силовых кабелей. Частным случаем обмотки с зазором является так называемая

мая обмотка открытой спиралью, при которой между соседними витками одной и той же ленты, нити или проволоки имеется, как правило, во много раз больший по сравнению с шириной ленты или с диаметром нити или

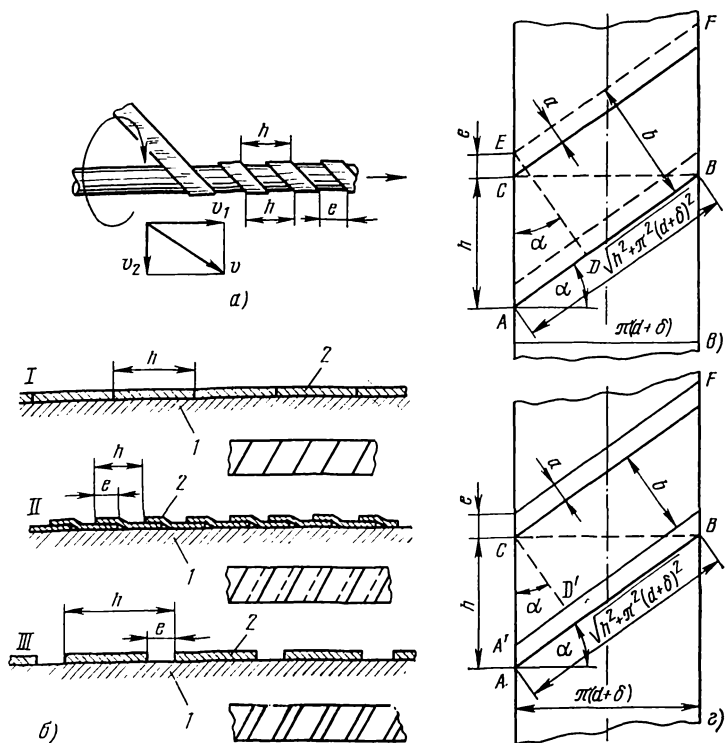


Рис. 4.1. Спиральная обмотка.

*a* — процесс спиральной обмотки ( $v_1$  — вектор поступательного прямолинейного движения;  $v_2$  — вектор вращательного движения;  $v$  — результирующий вектор); *б* — три способа спиральной обмотки (*I* — встык; *II* — с перекрытием; *III* — с зазором); *1* — продольное сечение обматываемого изделия; *2* — обмотка;  $h$  — шаг обмотки;  $e$  — аксиальное перекрытие или зазор; *в* — развертка на плоскость одного витка ленты, наложенной с перекрытием; *г* — то же с зазором.

проволоки зазор. Такой способ обмотки применяется чаще всего при наложении скрепляющей или опознавательной ленты, нити, проволоки.

Обмотка характеризуется несколькими параметрами, путем изменения которых можно, во-первых, осуществить тот или иной из вышеуказанных вариантов обмот-

ки и, во-вторых, обеспечить необходимую ширину зазора или перекрытия для заданных диаметра обматываемой заготовки, ширины и толщины ленты или диаметра нити или проволоки. Наконец, можно накладывать витки ленты под малым углом и плотно, как это имеет место при изолировании силовых кабелей (причем по мере увеличения номинального напряжения, для которого предназначен кабель, угол обмотки уменьшается, а плотность обмотки возрастает), или, наоборот, более свободно и под большим углом, например при изолировании кабелей связи.

Основным параметром обмотки является шаг обмотки, который определяется как расстояние между двумя точками, соответствующими одному полному обороту (витку) элемента обмотки (ленты, пряжи, нити), измеренное вдоль линии, параллельной продольной оси обматываемой заготовки. Для вывода параметрических соотношений спиральной обмотки сделаем развертку на плоскость одного полного витка ленты (пряжи). Для случая обмотки с перекрытием получится схема, изображенная на рис. 4.1,в, а для случая обмотки с зазором — на рис. 4.1,г. Введем следующие обозначения:

$h$  — шаг обмотки;  $d$  — диаметр обматываемого изделия (токопроводящей жилы, скрученного сердечника, бронированного кабеля и др.);  $\delta$  — толщина ленты (пряжи нитей);  $b$  — ширина ленты (пряжи нитей);  $e$  — перекрытие одного витка ленты другим (соседним), измеренное вдоль линии параллельной оси изделия, т. е. аксиальное перекрытие;  $a$  — то же, но измеренное по ширине ленты, т. е. по нормали к ее оси (нормальное перекрытие);  $\alpha$  — угол обмотки, соответствующий углу, образованному направлением ленты (пряжи) и перпендикуляром, восстановленным к оси обматываемого изделия (в некоторых ранее изданных книгах углом обмотки назывался не этот, а дополнительный угол).

Из подобия треугольников  $ABC$  и  $ADE$  при обмотке с перекрытием (рис. 4.1,в) следует:

$$\frac{b}{h + e} = \frac{\pi(d + \delta)}{\sqrt{h^2 + \pi^2(d + \delta)^2}}. \quad (4.1)$$

В случае обмотки с зазором (рис. 4.1,г, треугольники  $ABC$  и  $A'D'C$ ) в левой части формулы плюс изменится на минус ( $b/(h - e)$ ), а в случае обмотки встык слагаемое  $e$  обратится в нуль ( $b/h$ ).

В подавляющем большинстве случаев толщина ленты  $\delta$  во много раз меньше диаметра обматываемого изделия и ею обычно пренебрегают. Тогда формула для расчета обмотки в общем виде запишется так:

$$\frac{b}{h \pm e} = \frac{\pi(d + \delta)}{\sqrt{h^2 + \pi^2(d + \delta)^2}} \approx \frac{\pi d}{\sqrt{h^2 + \pi^2 d^2}}. \quad (4.2)$$

Лишь при обмотке обмоточных проводов малого диаметра волокнистыми материалами сделанное допущение может приводить к значительным погрешностям.

Из формулы (4.2) ширина ленты (пряди)

$$b = \frac{\pi d(h \pm e)}{\sqrt{h^2 + \pi^2 d^2}}. \quad (4.3)$$

Выразим перекрытие (зазор)  $e$  в долях шага  $h$  ( $e = kh$ , где  $k < 1$ ) и подставим в формулу (4.3):

$$b = \frac{\pi dh(1 \pm k)}{\sqrt{h^2 + \pi^2 d^2}}. \quad (4.4)$$

Из треугольника  $ADE$  (соответственно  $A'D'C$ ) получаем, что  $\cos \alpha = b / (h \pm e)$ , откуда

$$b = (h \pm e) \cos \alpha = h(1 \pm k) \cos \alpha. \quad (4.5)$$

Из треугольника  $ABC$  очевидно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\pi(d + \delta)} \approx \frac{h}{\pi d},$$

откуда

$$h = \pi(d + \delta) \operatorname{tg} \alpha \approx \pi d \operatorname{tg} \alpha. \quad (4.6)$$

Наконец, подставляя (4.6) в (4.5), получаем:

$$\begin{aligned} b &= \pi d \operatorname{tg} \alpha (1 \pm k) \cos \alpha = \\ &= \pi d \sin \alpha (1 \pm k). \end{aligned} \quad (4.7)$$

Из формул (4.5) и (4.6) можно получить и другую зависимость для  $b$ :

$$\begin{aligned} b &= h \cos \alpha \pm e \cos \alpha = \pi d \operatorname{tg} \alpha \cos \alpha \pm \\ &\pm e \cos \alpha = \pi d \sin \alpha \pm a, \end{aligned} \quad (4.8)$$

где  $a = e \cos \alpha$ .

Относительное перекрытие (зазор)  $k$  можно выражать как в относительных единицах, так и в процентах; последнее практикуется шире. При этом большей частью

задаются не  $k_a=e/h$ , т. е. аксиальным относительным перекрытием (или зазором), а близкой ей величиной  $k_H=a/b$ , называемой нормальным (т. е. взятым по направлению нормали к кромке ленты) относительным перекрытием (или зазором). Определим зависимость между  $k_a$  и  $k_H$

$$k_H = \frac{a}{b} = \frac{e \cos \alpha}{(h \pm e) \cos \alpha} = \frac{e}{h(1 \pm k_a)} = \frac{k_a}{(1 \pm k_a)}. \quad (4.9)$$

В свою очередь,  $k_a=k_H(1 \pm k_a)=k_H \pm k_H k_a$ , откуда

$$k_a(1 \mp k_H)=k_H \text{ и } k_a=k_H/(1 \mp k_H). \quad (4.10)$$

В формулах (4.10) и (4.11)  $k_a$  и  $k_H$  выражены в относительных единицах. Если же выразить  $k_a$  и  $k_H$  в процентах, то, например,

$$k_a = \frac{k_H}{100 \mp k_H} 100\%. \quad (4.11)$$

В противоположность формулам (4.2)—(4.5) и (4.7)—(4.9) в формулах (4.10) и (4.11) обмотке с перекрытием соответствует знак минус, а обмотке с зазором — плюс. Зависимости между  $k_a$  и  $k_H$  для случаев обмотки с перекрытием и с зазором приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Зависимость между относительными перекрытиями (зазорами) при обмотке**

Способ обмотки	Перекрытие	
	аксиальное $k_a$	нормальное $k_H$
С перекрытием	$\frac{k_H}{1 - k_H}$	$\frac{k_a}{1 + k_a}$
С зазором	$\frac{k_H}{1 + k_H}$	$\frac{k_a}{1 - k_a}$

Вычислим, например, значение  $k_a$  при обмотке с перекрытием, если задано  $k_H=20\%$ :

$$k_a = \frac{20}{100 - 20} 100\% = 25\%.$$

В табл. 4.2 приведена сводка формул для расчета обмотки лентами (пряжками), связывающих между собой

## Расчетные формулы для обмотки лентами (пряжами)

Номер формулы	Параметр	Способ обмотки		
		встык	с зазором	с перекрытием
(4.12)	Ширина ленты $b$	$\frac{\pi dh}{\sqrt{\pi^2 d^2 + h^2}}$	$\frac{\pi dh (1 - k_a)}{\sqrt{\pi^2 d^2 + h^2}} = \frac{\pi ih}{(1 + k_H) \sqrt{\pi^2 d^2 + h^2}}$	$\frac{\pi dh (1 + k_a)}{\sqrt{\pi^2 d^2 + h^2}} = \frac{\pi dh}{(1 - k_H) \sqrt{\pi^2 d^2 + h^2}}$
(4.13)	Шаг обмотки $h$	$\frac{\pi db}{\sqrt{\pi^2 d^2 - b^2}}$	$\frac{\pi db}{\sqrt{\pi^2 d^2 (1 - k_a)^2 - b^2}} =$ $= \frac{\pi db}{\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{(1 + k_H)^2} - b^2}}$	$\frac{\pi db}{\sqrt{\pi^2 d^2 (1 + k_a)^2 - b^2}} =$ $= \frac{\pi db}{\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{(1 - k_H)^2} - b^2}}$
(4.14)	Угол обмотки $\alpha$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\pi d};$ $\sin \alpha = \frac{b}{\pi d};$ $\cos \alpha = \frac{b}{h}$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\pi d};$ $\sin \alpha = \frac{b}{\pi d (1 - k_a)} = \frac{b (1 + k_H)}{\pi d};$ $\cos \alpha = \frac{b}{h (1 - k_a)} = \frac{b (1 + k_H)}{h}$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\pi d};$ $\sin \alpha = \frac{b}{\pi d (1 + k_a)} = \frac{b (1 - k_H)}{\pi d};$ $\cos \alpha = \frac{b}{h (1 + k_a)} = \frac{b (1 - k_H)}{h}$

шаг обмотки, угол обмотки и ширину ленты и учитывающих как аксиальное, так и нормальное относительные перекрытия (зазоры).

Соотношения между параметрами обмотки могут быть выражены также графически посредством номограммы. С этой целью представим формулу (4.2) с учетом (4.5) в следующем виде:

$$b = \frac{\pi (d + \delta) h (1 \pm k_a)}{\sqrt{h^2 + \pi^2 (d + \delta)^2}}. \quad (4.12)$$

Примем  $1/\pi (d + \delta) = x$ ;  $1/h = y$ . Тогда из

$$\frac{1 \pm k_a}{b} = \frac{\sqrt{h^2 + \pi^2 (d + \delta)^2}}{\pi (d + \delta) h}$$

получаем уравнение окружности

$$\frac{(1 \pm k_a)^2}{b^2} = x^2 + y^2$$

Если отложить по оси абсцисс  $x$  и по оси ординат  $y$ , то величина  $(1 \pm k_a)/b = 1/b'$  будет представлять собой радиус одной из концентрических окружностей (где  $b'$  — ширина ленты при обмотке встык). Можно на осях нанести значения  $d + \delta$  и  $h$  и получить, таким образом, зависимость между ними. Если провести ряд прямых линий, соответствующих различным углам  $\alpha$ , то номограммы разобьются на участки применительно к диапазону углов обмотки. Чтобы найти ширину ленты  $b$ , надо построить графики зависимости  $b$  от  $b'$ , имеющей линейный характер:

$$b = b' (1 \pm k_a) = \frac{b'}{1 \mp k_n}.$$

С использованием этой дополнительной номограммы, зная  $b'$ , можно определить  $b$  при различных значениях  $k$ . Номограммы для определения параметров обмотки лентами построены на рис. 4.2—4.4 (в пренебрежении  $\delta$  по сравнению с  $d$  на рис. 4.2).

Рассмотрим связь между основным параметром обмотки — ее шагом  $h$  и технологическими параметрами, характеризующими работу любой машины для наложения спиральной обмотки. Таким параметров два: линей-

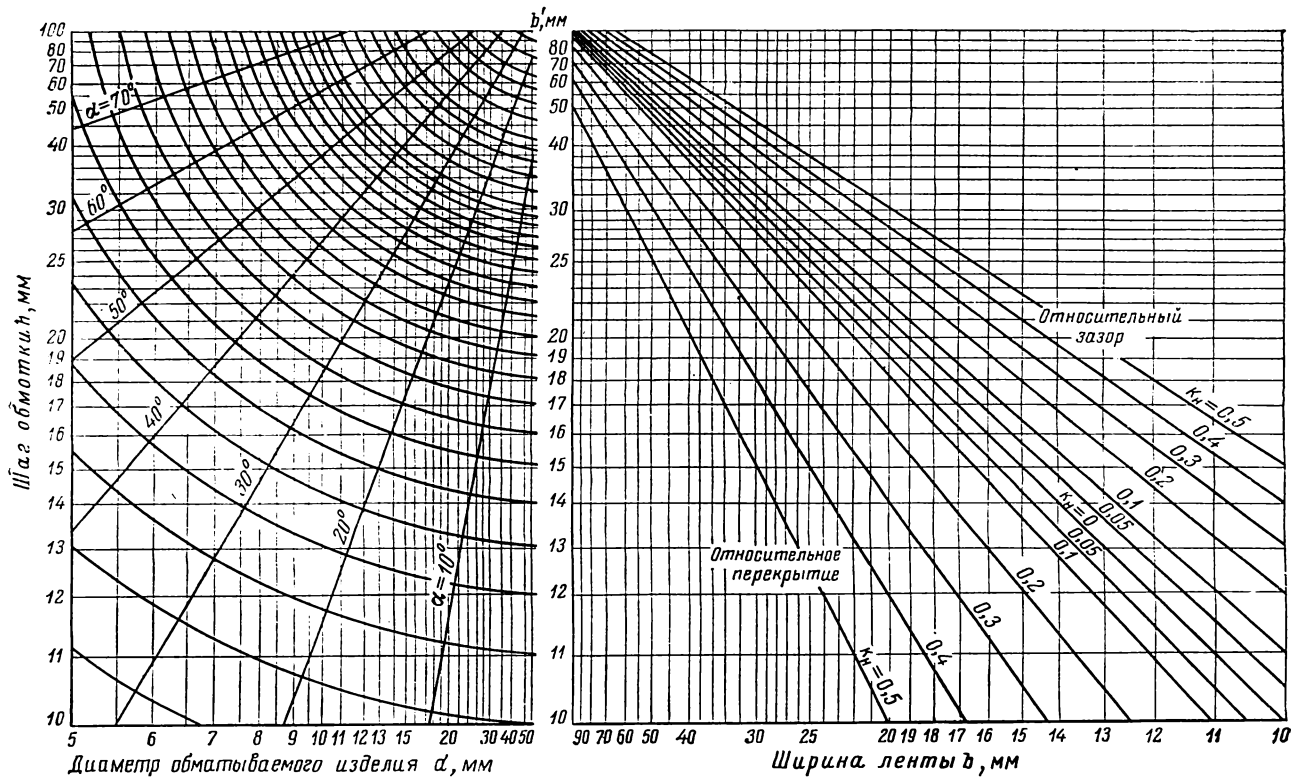




Рис. 4.2. Номограмма для определения параметров обмотки лентой (пряжью) изделия диаметром 5—50 мм.

←

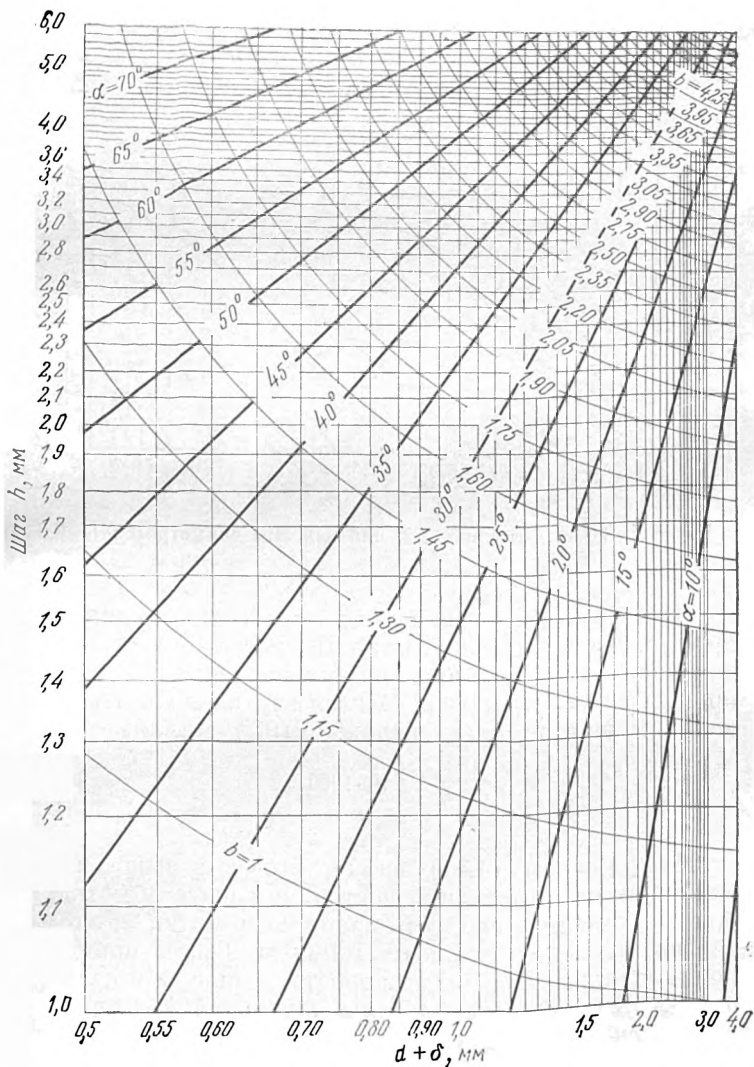


Рис. 4.3. То же, что рис. 4.2, для изделия диаметром 0,5—4,0 мм.

ная скорость машины  $v_{л}$ , м/мин, и частота вращения обмотчика (ленто-, ните-, броне-, корделе- и т. д.)  $n_{обм}$ .

Согласно определению шаг обмотки равен длине обматываемого изделия, соответствующей одному полному обороту ленты, пряжи, проволоки и т. п. вокруг него.

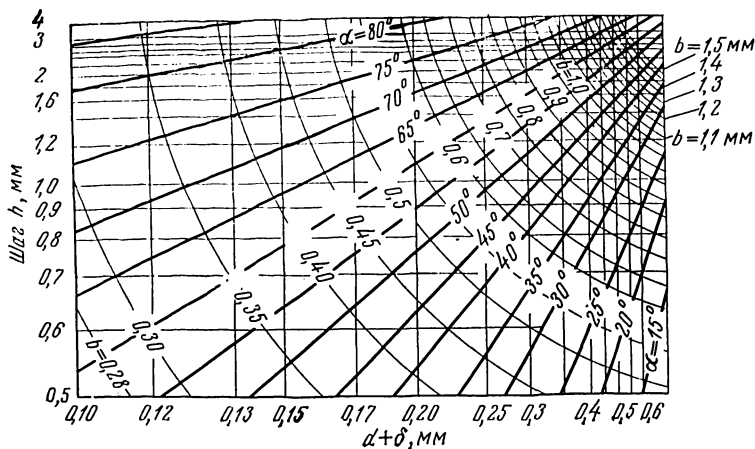


Рис. 4.4. То же, что рис. 4.2, для изделия диаметром 0,1—0,6 мм.

Пусть частота вращения обмотчика равна  $n_{обм}$ , об/мин. Длина изделия, которая за эту же минуту пройдет через машину, численно равна линейной скорости процесса  $v_{л}=l/t$ , м/мин. Отнеся эту длину к 1 обороту, получим шаг обмотки, выражаемый в миллиметрах:

$$h = \frac{v_{л} \cdot 1000}{n_{обм}}. \quad (4.13)$$

Из формулы (4.11) видно, что чем выше частота вращения обмотчика при постоянном шаге обмотки, тем больше линейная скорость процесса обмотки и, следовательно, производительность машины. Также прямо пропорциональны линейная скорость и шаг обмотки (при  $n_{обм}=\text{const}$ ). Однако пределы изменения  $h$  ограничиваются требованиями к конструктивным и механическим свойствам обмотки. На практике, исходя из последних, сначала предварительно рассчитывают  $h$ , как функцию  $d$  и  $\alpha$ . Затем применительно к кинематической схеме

конкретной машины, варьируя сменными шестернями, подбирают ближайшее возможное значение  $h$  как функции  $v_{л}$  и  $n_{обм}$ , после чего по реальному  $h$  уточняют  $a$ ,  $b$  и  $k$  (соответственно  $e$  и  $a$ ).

## 4.2. ЛЕНТО- и НИТЕОБМОТОЧНЫЕ МАШИНЫ

Изоляция многих типов кабелей и проводов состоит из бумажных или пластмассовых лент или из нитей (хлопчатобумажная пряжа, стеклянное волокно, синтетическое волокно и т. п.). Основным способом наложения такой изоляции является обмотка лентами или нитями токопроводящих жил (проводами). Поэтому различные обмоточные машины для наложения ленточной и волокнистой изоляции представляют собой типовое оборудование кабельных заводов. Подобные машины широко применяются в производстве силовых кабелей всех напряжений, обмоточных и монтажных проводов, кабелей связи.

Ленто- и нитеобмоточные машины по видам накладываемой изоляции можно классифицировать на обмоточные машины для наложения бумажной изоляции; обмоточные машины для наложения пленочной изоляции; обмоточные машины для наложения изоляции в виде нитей; агрегаты для производства обмоточных проводов со стекловолоконистой изоляцией с подклейкой лаком и термообработкой.

Принцип действия всех этих машин одинаков. Токопроводящая проволока или жила с отдающего устройства направляется через протиры (иногда через правильные приспособления) в устройства, где происходит наложение изоляции методом обмотки (обмотчики), с последующим приемом изготовленной продукции или полуфабриката на барабаны (катушки). В ряде случаев обмоточные машины снабжаются также печами для дополнительной тепловой обработки изоляции, например в производстве проводов со стекловолоконистой изоляцией, где стекловолокно подклеивается к проволоке специальными лаками, испарение растворителей и поликонденсация которых требуют действия повышенных температур. Обмоточные машины выполняются как горизонтального, так и вертикального типа. На рис. 4.5 показана обмоточная машина марки ИЖ-32, предназначенная для наложения бумажной изоляции на жилы сило-

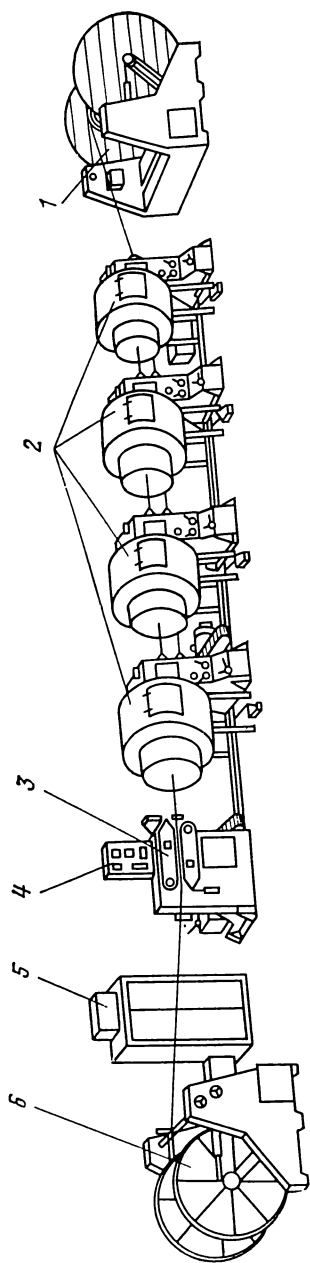


Рис. 4.5. Обмоточная машина марки ИЖ-32.

1 — отдающее устройство ОУ-2000; 2 — бумагообмотчики; 3 — гусеничное тяговое устройство; 4 — пульт управления; 5 — шкаф для аппаратуры; 6 — приемное устройство ПУ-2000.

вых кабелей сечением от 25 до 240 мм<sup>2</sup> на напряжение до 10 кВ. Машина имеет четыре бумагообмотчика, на каждом из которых укрепляется восемь роликов бумажной ленты. Таким образом, за один проход через машину ИЖ-32 может быть наложена изоляция из 32 бумажных лент. Частота вращения обмотчиков — до 500 об/мин, линейная скорость движения кабеля — до 30 м/мин.

Важнейшей частью обмоточных машин являются обмотчики, так как в основном именно обмотчики определяют качество наложения бумажной и пленочной изоляции из различных нитей. Применяемые типы обмотчиков различаются между собой прежде всего по расположению ролика ленты или бобины нити по отношению к оси изолируемого провода. Все обмотчики делятся на центровые и эксцентричные. Если ось изолирующего ролика или бобины совпадает с осью изолируемой проволоки или жилы, то такой обмотчик называется центровым

(рис. 4.6). Эти обмотчики хорошо уравновешены и поэтому допускают большие частоты вращения (при изолировании силовых кабелей — до 1000 об/мин, при изолировании обмоточных проводов — до 10 000 об/мин). Однако для обеспечения непрерывности процесса изолирования и исключения необходимости разрезать изолируемые проволоки после срабатывания ролика для последующей заправки приходится сразу устанавливать несколько роликов или бобин, что вызывает увеличение габаритов машины. Кроме того, для си-

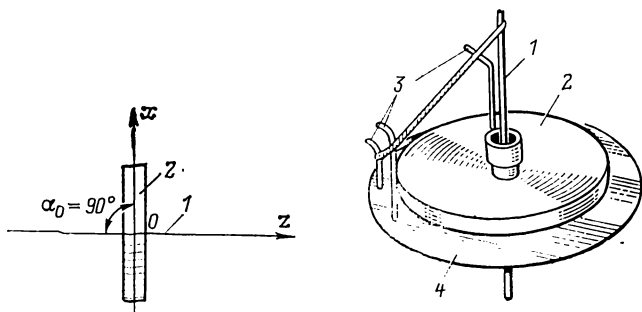


Рис. 4.6. Конструкция центрального обмотчика.

1 — обматываемый цилиндр (токопроводящая жила, кабель); 2 — ролик ленты; 3 — направляющие кольца; 4 — диск обмотчика.

ловых кабелей, где число изолирующих лент значительно, центральной обмотчик практически применим только для изолирования жил малых сечений. Однако при наложении волокнистой изоляции центральной обмотчик, обеспечивающий максимальную производительность, является основным.

Если ось ролика или бобины не совпадает с осью проволоки или жилы, то такой обмотчик называется эксцентричным. Эксцентричные обмотчики делятся на простые, плоские, тангенциальные и полутангенциальные. Схемы эксцентричных обмотчиков показаны на рис. 4.7.

В простом или наклонном обмотчике плоскость ролика расположена под некоторым углом к оси изолируемой жилы, на которую изолирующая лента накладывается непосредственно или поступает через направляющий палец. Очевидно, что с уменьшением диаметра ролика положение ленты на изолируемой жиле,

даже при наличии направляющего пальца, меняется. Следовательно, меняется и расположение зазоров между лентами, которые в принципе могут совпасть. Для силовых кабелей, особенно высоковольтных, это недопустимо.

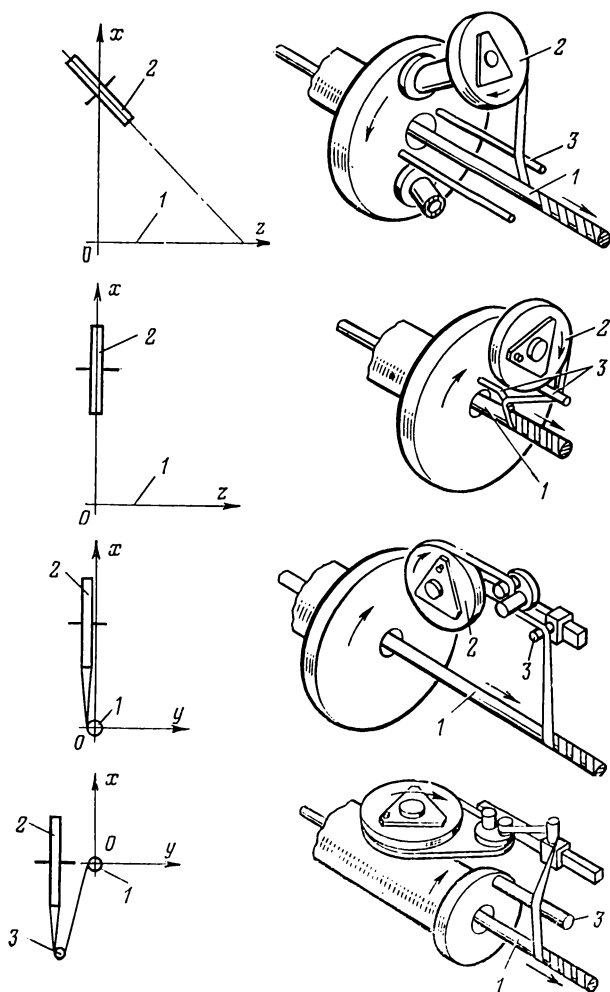


Рис. 4.7. Схемы эксцентричных обмотчиков.

*a* — простой или наклонный обмотчик; *б* — плоский обмотчик; *в* — тангенциальный обмотчик; *г* — полутангенциальный обмотчик; 1 — изолируемая жила; 2 — ролик ленты; 3 — направляющие пальцы.

Плоский обмотчик отличается от простого тем, что в нем ось ролика параллельна оси изолируемой жилы. Нужное направление изолирующей ленты достигается и в данном типе обмотчика с помощью направляющих пальцев, которых обычно два. Такие обмотчики в основном применяются для обмотки жил средних и больших сечений силовых кабелей напряжением до 10 кВ. Они просты в эксплуатации, занимают мало места по длине обмоточной машины и обеспечивают частоту вращения 300—350 об/мин.

В тангенциальных обмотчиках средняя линия сходящей бумажной ленты является касательной к поверхности изолируемой жилы, что обеспечивает равномерность натяжения обеих кромок ленты. Отличие полутангенциального обмотчика от тангенциального состоит в расположении ролика относительно оси изолируемой жилы; в полутангенциальном обмотчике средняя плоскость ролика не является касательной к поверхности жилы, хотя плоскость эта и параллельна оси жилы. В результате представляется возможным более компактно (ближе к оси жилы) расположить изолирую-

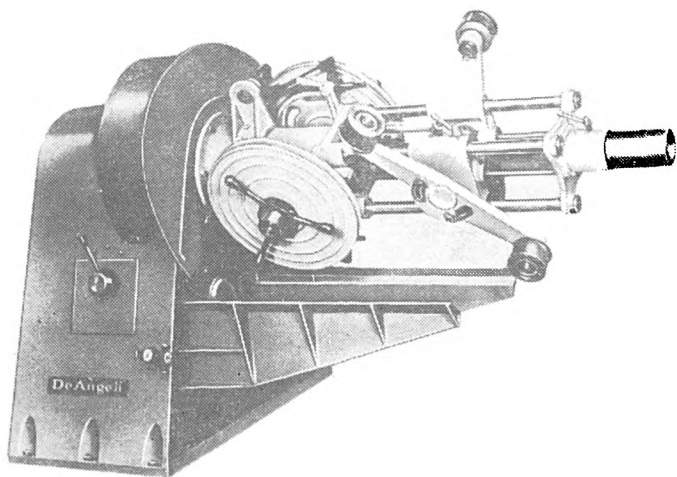


Рис. 4.8. Тангенциальный обмотчик фирмы «Де Анжели».

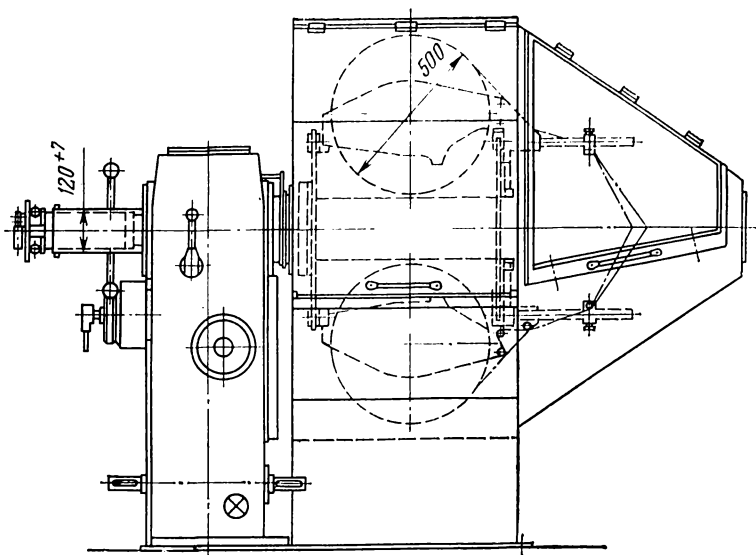


Рис. 4.9. Рабочая схема и габариты обмотчика фирмы «Крупп».

щие ролики, а следовательно, и повысить частоту вращения. На рис. 4.8 показан тангенциальный обмотчик итальянской фирмы «Де Анжели», рассчитанный на частоту вращения 900 об/мин при диаметре ролика 400 мм и 700 об/мин при диаметре ролика 600 мм. Число роликов ленты 2—4; регулирование частоты вращения бесступенчатое. Обмотчик снабжен электропневматической системой торможения с помощью дисков и системой, обеспечивающей постоянство натяжения ленты при сходе ее с ролика. При обрыве ленты вращение обмотчика прекращается. Защитный кожух обмотчика необходим с точки зрения техники безопасности (изоляция рабочих от вращающихся частей, в том числе в случае аварий).

Современные обмотчики для наложения изоляции, особенно силовых кабелей, выполняются с числом роликов в головке 8—16. В этом случае обмотчики обычно рассчитываются на частоту вращения, равную 500 об/мин. Рабочая схема подобного обмотчика фирмы «Крупп» (ФРГ), рассчитанного на восемь лент, показана на рис. 4.9.



Качество наложения бумажных лент на жилу определяется тем, в какой степени постоянным остается натяжение бумажной ленты при сходе с ролика в процессе изменения диаметра последнего. Постоянство натяжения определяет необходимую плотность намотки лент.

Традиционным способом обеспечения изменения натяжения бумажных лент в ограниченных пределах являются дисковые тормоза, располагаемые по обеим сторонам бумажного ролика (рис. 4.10). В этом случае торможение осуществляется за счет трения боковых поверхностей ролика 1 и тормозных дисков 2. Усилие торможения передается к тормозным дискам от тормозной пружины 4 через прижимные шайбы 3. Известно, что момент трения, создаваемый тормозными дисками с одной стороны бумажного ролика,

$$M_1 = \frac{\mu P (r_{\text{пл}} + r_{\text{вн}})}{2}, \quad (4.14)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения между тормозным диском и роликом;  $P$  — нажатие тормозного устройства;  $r_{\text{пл}}$  — наружный радиус тормозного диска;  $r_{\text{вн}}$  — наружный радиус внутреннего отверстия бумажного ролика.

Полный момент трения, создаваемый тормозным устройством с двух сторон ролика,

$$M_2 = \mu P (r_{\text{пл}} + r_{\text{вн}}). \quad (4.15)$$

Так как натяжение ленты

$$F = M / r_p,$$

где  $r_p$  — наружный радиус бумажного ролика, то очевидно, что при срабатывании ролика, т. е. при уменьшении его диаметра, натяжение ленты будет увеличиваться до тех пор, пока не станет равным радиусу тормозного диска  $r_{\text{пл}}$ .

При  $r_p < r_{\text{пл}}$

$$M_2 = \mu P (r_p + r_{\text{вн}}). \quad (4.16)$$

При дальнейшем уменьшении  $r_p$  момент  $M_2$  начнет уменьшаться, и если  $r_{\text{вн}}$  достаточно мало, то натяжение бумажных лент  $F$  в процессе уменьшения диаметра ролика может более или менее стабилизироваться. На практике оно продолжает несколько возрастать с заметным увеличением в конце ролика, т. е. при  $r_p$ , близком к  $r_{\text{вн}}$ . Данный способ поддержания постоянства натяжения бумажных лент является устаревшим и в настоящее время заменяется более совершенным. В частности,

разработаны пружинные тормозные устройства, обеспечивающие постоянство натяжения бумажной ленты и применяемые во многих обмоточных машинах. Так, на отечественной машине ИЖ-32 каждая головка обмотчика снабжена устройством (рис. 4.11), с помощью которого создается натяжение бумажной ленты при изолировании жилы, поддерживаемое затем постоянным по мере уменьшения диаметра бумажного ролика. Натяжение устанавливается пружиной.

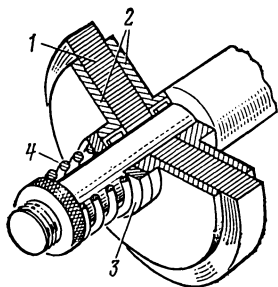


Рис. 4.10. Схема торможения бумажного ролика с помощью пластинчатых тормозов.

Бумажный ролик через шпонку связан с тормозным шкивом. Усилие натяжения бумажной ленты через поворотные ролики передается на тягу, которая через систему рычагов воздействует на тормозную ленту, изменяя момент торможения.

Обмоточные машины снабжаются автоматами, реагирующими на обрыв ленты или нити, которые при срабатывании останавливают машину. Принцип действия таких автоматов показан на рис. 4.12. На торце диска обмотчика

закреплены два направляющих кольца, через которые проходит нить или прядь. На противоположной стороне диска закреплено контактное кольцо, изолированное от диска. Провод от контактного кольца подводится к одному из направляющих пальцев и соединяется с контактной пластиной, которая в свою очередь также изолирована от пальца. Целостность нити или пряди, движущейся к обматываемой жиле или проволоке, контролируется с помощью второго, контактного пальца. Контактный палец заземляется через диск обмотчика. При вращении обмотчика нить или прядь, сматываясь с бобины, проходит через проводки, закрепленные на направляющих пальцах, и изолирует жилу или проволоку. В этом случае контактный палец касается нити или пряди. Через щеточный контакт последовательно с контактным кольцом соединено промежуточное реле, катушка которого обычно питается напряжением 3 В, подаваемым через понижающий трансформатор. При обрыве пряди или нити контактный палец центробежной силой прижимается к контактной пластине, в результате

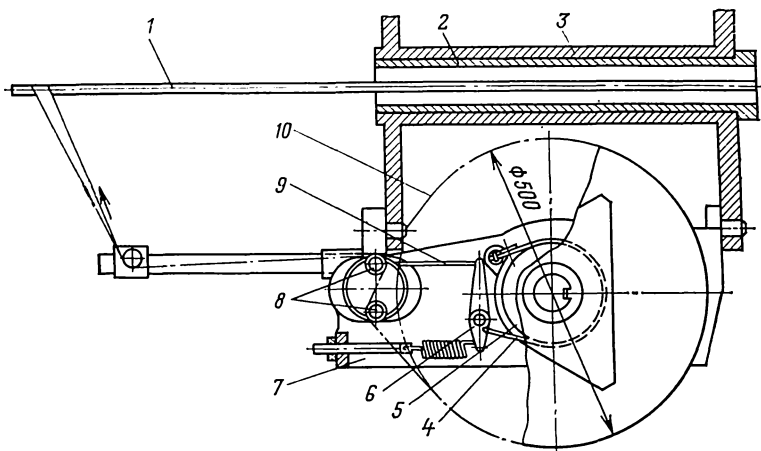


Рис. 4.11. Схема регулирования натяжения на обмоточной машине ИЖ-32.

1 — жила; 2 — вал привода обмотчика; 3 — обмотчик; 4 — тормозная лента; 5 — тормозной шкив; 6 — рычаг; 7 — головка обмотчика; 8 — поворотные ролики; 9 — тяга; 10 — бумажный ролик.

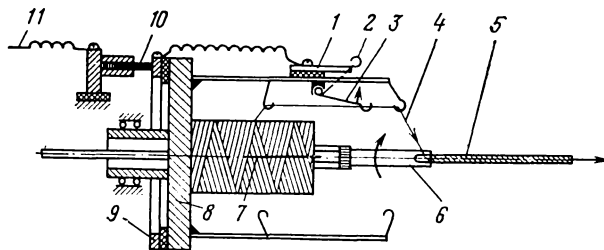


Рис. 4.12. Схема автомата обмоточной машины на обрыв ленты или нити.

1 — контактная пластина; 2 — контактный палец при обрыве; 3 — контактный палец в рабочем положении; 4 — лента или нить; 5 — проволока или жила; 6 — ниппель; 7 — бобина с пряжей; 8 — обмотчик; 9 — контактное кольцо; 10 — щеточный автомат; 11 — вывод к промежуточному реле в электрошкафу.

чего замыкается электрическая цепь: земля — контактный палец — контактная пластина — контактное кольцо — щеточный контакт — катушка промежуточного реле — вторичная обмотка трансформатора — земля. Промежуточное реле срабатывает и своими контактами размыкает цепь пускателя главного привода обмоточной

машины. Приводной электродвигатель отключается от сети, машина останавливается.

Одним из обязательных и основных узлов любой обмоточной машины является тяговое устройство, осуществляющее протягивание изолируемого провода через рабочие узлы машины. В обмоточных машинах используются тяговые устройства гусеничного и колесного типа. Ось приемного устройства имеет принудительное вращение. Равномерность раскладки изолированного провода по ширине приемного барабана (катушки) обеспечивается специальным раскладочным устройством (см. § 1.9). Если раскладывающее устройство выполнено таким образом, что длина винтовой нарезки равна ширине приемного барабана, то в этом случае к точности изготовления приемной тары предъявляются повышенные требования. Шаг раскладки изолированного провода на приемной катушке или барабане регулируется с помощью специального бесступенчатого механизма и ступенчато с помощью сменных шестерен или путем перестановки пальца — в приводном кривошипно-шатунном механизме. Наиболее качественная раскладка изолированного провода обеспечивается в безосевых приемных устройствах с перемещающимся барабаном.

Основные характеристики обмоточных машин для производства обмоточных проводов и изолирования силовых кабелей приведены в табл. 4.3 и 4.4.

Особую группу обмоточных машин составляют агрегаты для наложения стекловолоконистой изоляции. Особенностью этих машин является то, что одновременно с обмоткой пряжей стеклонитей производится подклейка, пропитка, лакировка изоляции и сушка композиционной изоляции, состоящей из стекловолокна и электроизоляционного лака.

В стеклообмоточных агрегатах используются центрошпульные обмотчики, обеспечивающие высокую частоту вращения — до 3500 об/мин. Обычно производится подклейка каждого слоя стекловолокна, причем после того, как провод прошел через лаковую ванну, он несколько раз пропускается через печь для сушки и запечки слоя лака. После нанесения второго слоя стекловолокна и его подклейки и запечки поверхность провода лакируется путем 2—3-кратного погружения провода в лаковую ванну с последующей запечкой в печи.

## Основные характеристики изолирующих машин для производства силовых кабелей

Основные характеристики машин	И-30	ИЖ-32	М4ХВР8/500 (комбинат СКЕТ. ГДР)	Фирма „Крупп“ (ФРГ)	Фирма „Пуртье“ (Франция)	Фирма „Матер- риэль де Каблерв“ (Франция)
Диапазон сечений изолируемых жил, мм <sup>2</sup>	10—35	25—240	50—240	35—240	120—2000	25—120
Максимальная толщина накладываемой изоляции, мм	7,2	7,68	7,68	7,68	53,76	7,68
Максимальное число накладываемых бумажных лент	30	32	32	32	224	32
Число обмотчиков	5	4	4	4	14	4
Число роликов бумаги в обмотчике	6	8	8	8	16	8
Частота вращения обмотчика, об/мин	До 600	До 500	До 500	До 500	260	До 400
Максимальный диаметр ролика бумаги, мм	400	500	500	500	500	500
Линейная скорость изолирования, м/мин	До 12	10	До 10	10	5,2	8,0

Основные характеристики изолирующих машин для производства обмоточных проводов

Основные характеристики машин	ОГ-2Э	0—8	ОГ-8	ОГ-12	ОГ-24	ОГ-32	ОГ-48
Диапазон размеров изолируемых проводов, мм <sup>2</sup>	12,5—80	2,5—12,5	12,5—80	12,5—80	25—120	25—120	25—120
Максимальная удвоенная толщина накладываемой изоляции, мм	1,92	1,92	1,92	2,88	5,76	7,68	11,52
Максимальное число накладываемых бумажных лент	8	8	8	12	24	32	48
Количество ходов	2	1	1	1	1	1	1
Число обмотчиков на 1 ход	2	4	2	3	3	4	6
Частота вращения обмотчика, об/мин	295—400	700	500	500	425	425	425
Максимальный диаметр бумажного ролика, мм	300	300	400	400	480	480	480
Линейная скорость изолирования, м/мин	2,6—15,6	4,7—14	5—15	5—15	6—30	6—30	6—30

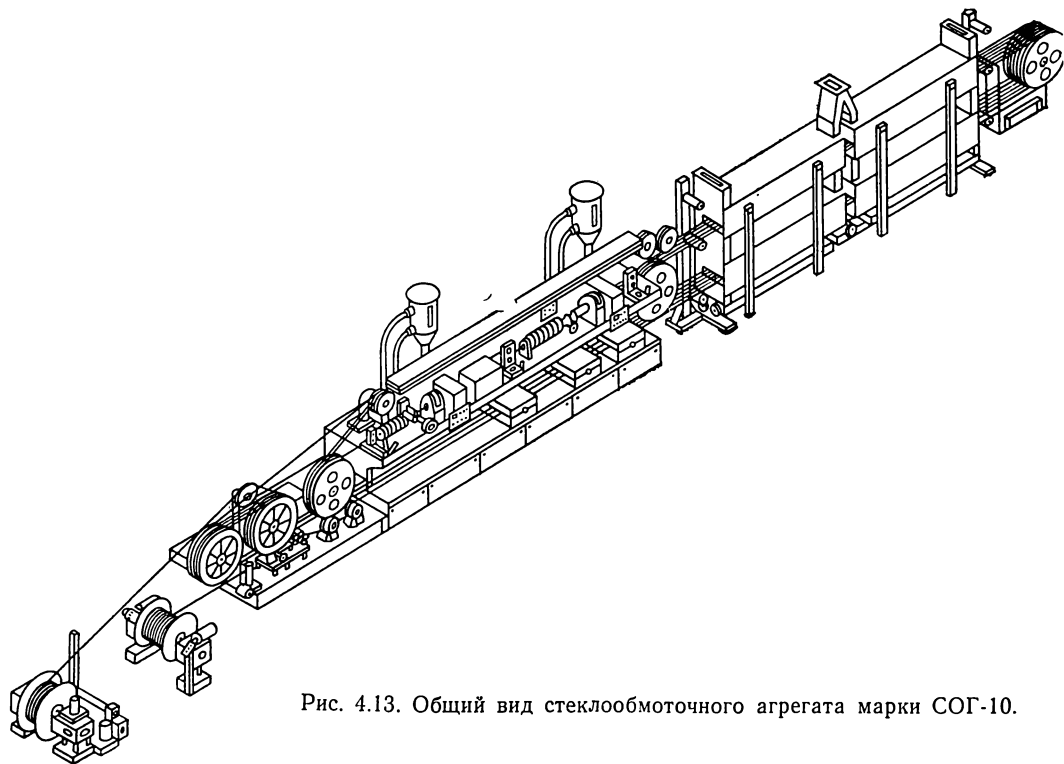


Рис. 4.13. Общий вид стеклообмоточного агрегата марки СОГ-10.

## Основные характеристики стеклообмоточных агрегатов

Основные характеристики агрегатов	2СОГ-04М	2СОВ-1	2СОВ-2,5
Исполнение	Горизонтальное	Вертикальное	Вертикальное
Диаметры или сечения изготавливаемых проводов, мм, мм <sup>2</sup>	0,2—1,2	0,5—1,2	1,0—2,5
Частота вращения обмотки, об/мин	2500—3500	2000—4000	2160—400
Линейная скорость изолирования, м/мин	1,55—6,27	5—10	5—10
Длина печи, мм	1,4	2,5 (двухкамерная)	2,5 (двухкамерная)
Установленная мощность, кВт (на один ход)	11,5	36	36
Количество ходов	2	2	2
Габариты машины (длина × ширина × высота), мм	4750 × 1010 × 1950	3400 × 4300 × 5400	4300 × 4850 × 5400

Примечание. Линейные скорости указаны в соответствии с кинематическими водами (скоростью сушки лака, количеством проходов и т. д.).

В новых типах стеклообмоточных агрегатов при остановке печь автоматически отодвигается, в результате чего провод оказывается вне зоны нагрева и, следовательно, его изоляция в момент остановки не повреждается. Агрегаты оборудованы системой циркуляционной подачи лака в ванны из общего резервуара с одновременной фильтрацией.

Принцип действия стеклообмоточных агрегатов можно проиллюстрировать на примере агрегата марки СОГ-10 (рис. 4.13), предназначенного для производства медных и алюминиевых обмоточных проводов со стекловолоконистой изоляцией сечением до 25 мм<sup>2</sup>. Агрегат имеет двухъярусное расположение, снижающее длину и габариты. Агрегат СОГ-10 обеспечивает послойную запечку изоляции проводов, что способствует повышению их механических и электрических характеристик.

Проволока через протирочное и прямильное устройство поступает в ванну подклейки, первый обмотчик и ванну пропитки, после чего провод дважды проходит через сушильную печь. Затем провод проходит через вто-



Таблица 4.5

2СОВ-2,5М	СОГ-10	СОГ-60
Вертикальное	Горизонтальное	Горизонтальное
Медные: прямоуголь- (ные 2—10 мм <sup>2</sup> , круглые 1,56— 5,2 мм	Медные: прямоугольные 2,5—25 мм <sup>2</sup> , круглые 2—5,2 мм	Медные прямоуголь- ные 15—60 мм <sup>2</sup>
Алюминиевые прямо- угольные 6—12 мм <sup>2</sup> 2043—3530	Алюминиевые прямо- угольные 8—25 мм <sup>2</sup> 1460—3080	Алюминиевые прямо- угольные 15—60 мм <sup>2</sup> До 3000 <sup>1</sup>
3,08—14,07	3,5—12,4	3,7—10
2,5 (двухкамерная)	4 (шестикамерная)	4 (четырекамерная)
36	70	40
<sup>2</sup> 4200×6400×6000	<sup>1</sup> 14 600×2100×2645	<sup>1</sup> 18 500×1664×2710

возможностями агрегатов: реальная скорость определяется многими технологическими фак-

рую ванну подклейки, второй обмотчик, вторую ванну пропитки и снова поступает в сушильную печь. В агрегате СОГ-10 предусмотрена лакировка провода в 2—3 прохода, после чего производится окончательная запечка изоляции путем многократного прохождения провода через сушильную печь. Машина имеет универсальное приемно-отдающее безосевое устройство с механизированной установкой барабанов. Основные характеристики стеклообмоточных машин приведены в табл. 4.5.

### 4.3. ОБМОТКА БУМАЖНЫМИ ЛЕНТАМИ ЖИЛ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ 1—35 кВ

Для изолирования жил силовых кабелей применяется обмотка бумажными лентами, причем ленты накладываются с зазором, составляющим 0,5—2 мм. Такой способ наложения лент допускает их перемещение при изгибах кабеля без повреждения кромок, а также позволяет получить более гибкую изоляцию по сравнению с обмот-

кой с перекрытием. Для выбора технологических параметров процесса изолирования можно воспользоваться диаграммой параметров, приведенной на рис. 4.2.

Диаграмма непосредственно пригодна для круглых жил сечением от 16 до 185 мм<sup>2</sup>, однако ею можно воспользоваться также для выбора параметров изолирования секторных жил. При этом величину  $D$  следует определять как диаметр эквивалентной круглой жилы, периметр которой равен периметру заданной секторной жилы. При выборе углов обмотки, а также ширины бумажной ленты необходимо учитывать следующие обстоятельства. Производительность процесса обмотки увеличивается с увеличением угла и ширины ленты, однако большие значения  $b$  и  $h$  уменьшают гибкость кабеля и плотность наложения изоляции. Кроме того, для качества изоляции очень важно, чтобы не было так называемых совпадений зазоров.

Под совпадением зазоров понимают тот случай, когда кромка ленты располагается под кромкой ленты следующего повива (расстояние между ними не более 1 мм) на длине полного витка. Если учесть, что изолирование силовых кабелей производят обычно с 30%-ным перекрытием, при котором зазоры перекрываются лентой следующего повива примерно на  $1/3$  ее ширины, то отсутствие совпадений зазоров можно обеспечить, если изолирование производить с постоянным шагом.

Для кабелей напряжением 1—35 кВ можно рекомендовать следующие диапазоны параметров изолирования: для фазной изоляции кабелей 1—10 кВ  $b=6\div 28$  мм и  $\alpha=15\div 40^\circ$  для кабелей на 1—10 кВ и  $b=12\div 22$  мм и  $\alpha=15\div 20^\circ$  для кабелей на 20—35 кВ.

Для наложения поясной изоляции кабелей 1—10 кВ можно использовать более широкие ленты, так как радиусы изгиба скрученного кабеля на приемных устройствах значительно больше, чем при изолировании отдельных жил.

Большую роль с точки зрения получения качественной изоляции при обмотке бумажными лентами играет постоянство натяжения бумажной ленты. На натяжение ленты оказывают влияние тормозной момент бумажного ролика, силы трения бумажной ленты о направляющие ролики, сопротивление воздуха при вращении бумагообмотчика и ряд других причин. Однако наибольшее влияние оказывает тормозной момент  $M$ .

Если принять момент  $M$  постоянным в процессе изолирования, то натяжение ленты  $N$  с размоткой ролика будет увеличиваться. Действительно,

$$N = M/R, \quad (4.17)$$

где  $R$  — радиус бумажного ролика.

Поэтому необходимы автоматические устройства, изменяющие тормозной момент в процессе изолирования так, чтобы обеспечить постоянное натяжение бумажной ленты.

Наложение бумажной изоляции кабелей 1—35 кВ производится обычно на горизонтальной изолировочной машине. Кабели 1—10 кВ сечениями 10—50 мм<sup>2</sup> могут изолироваться на отечественных машинах модели ИЖ-32 (см. рис. 4.5). Кроме того, для изолирования силовых кабелей 1—35 кВ применяются горизонтальные изолировочные машины модели М4ВР (комбинат СКЕТ, ГДР).

Эти машины оборудованы бумагообмотчиками тангенциального или полутангенциального типа, имеют автоматические устройства для регулирования натяжения бумажной ленты, которое изменяется в процессе изолирования по мере уменьшения радиуса бумажного ролика, а также автомат отключения машины при обрыве или сходе бумажной ленты. Применяется тяговое устройство гусеничного типа с пневматическим устройством для изменения расстояния между гусеницами и регулирования давления. Частота вращения обмотчиков составляет до 600 об/мин, линейная скорость изолирования до 20 м/мин.

#### **4.4. ОСОБЕННОСТИ НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НА ЖИЛЫ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ**

Основным фактором, определяющим плотность наложения бумажной изоляции, является натяжение бумажных лент при изолировании.

Если натяжение лент при обмотке было мало, то возникающее при технологических изгибах кабеля радиальное давление в изоляции может составить значительную долю от того давления, которое создается за счет натяжения лент при изолировании, или даже превысить последнее. В этом случае плотность намотки лент на внутренней стороне изгиба кабеля снижается и под-

держивающее влияние лент исчезает. Более того, каждый внешний слой бумажных лент способствует излому следующего внутреннего слоя с образованием в зоне сжатия морщин изоляции. Наоборот, в зоне, подвергшейся растяжению (верхняя часть изоляции витка кабеля при его изгибе), образуются местные неплотности вследствие расхождения бумажных лент. Как морщины, так и неплотности изоляции после изготовления кабеля являются его слабым местом, так как электрическая прочность изоляции в зоне расположения указанных дефектов может оказаться ниже расчетной.

Естественно, подобные дефекты, возникающие как из-за нарушений или несовершенства технологических режимов изготовления кабеля, так и из-за недопустимых механических воздействий при его монтаже, тем опаснее, чем ближе они расположены к жиле.

Следует отметить, что из-за пониженной плотности намотки лент при укладке кабеля в корзину или при намотке на барабан после изолирования наружная поверхность витка кабеля будет представлять собой не окружность, а многоугольник вследствие наличия изломов изоляции. В месте излома радиус изгиба уменьшается, что вызывает увеличение усилия сдвига витков лент и приводит к образованию морщин и увеличению зазоров между лентами.

Для исключения подобных явлений при изготовлении кабеля должны быть обеспечены условия, при которых радиальное давление в изоляции, создаваемое при намотке бумажных лент, было бы больше давления, возникающего в изоляции за счет изгиба кабеля.

Радиальное давление в изоляции при изгибе кабеля  $p$  определяется по следующей формуле:

$$p = \frac{\Delta E_x}{R_0} g, \quad (4.18)$$

где  $\Delta$  — толщина бумажной ленты;  $E_x$  — модуль упругости изоляции в продольном направлении;  $R_0$  — радиус изгиба кабеля;  $g$  — функция, зависящая от упругих свойств бумажных лент, их ширины и радиуса намотки.

Следовательно, радиальное давление  $p_0$ , создаваемое при намотке бумажных лент, должно быть больше или равно  $p$ , т. е.

$$p_0 \geq \frac{\Delta E_x}{R_0} g. \quad (4.19)$$

Фактически выражение (4.19) является нижним пределом допустимого радиального давления в изоляции. При этом плотность изолирования бумажных лент будет минимальной.

При чрезмерно плотной намотке бумажных лент задвигается скольжение лент относительно одна другой при изгибе кабеля, морщины в изоляции не образуются. Однако в этих условиях могут образовываться складки из-за «западания» ленты в зазор. Дефект в этом случае образуется и на участке ленты, опирающемся на соседнюю, с образованием ромбовидных морщин.

Максимальное осевое усилие  $N$ , возникающее при изгибе кабеля, в основном зависит от давления, создаваемого при намотке лент при изолировании:

$$N = (1 - a) f b p_0, \quad (4.20)$$

где  $a$  — коэффициент перекрытия бумажных лент;  $f$  — коэффициент трения бумаги о бумагу;  $b$  — ширина бумажной ленты.

Как следует из формулы (4.20), осевые усилия в изоляции кабеля при его изгибе не зависят от радиуса изгиба и равны силам трения, которые возникают при относительном скольжении лент.

Для исключения появления деформаций изоляции при плотной намотке осевое усилие  $N$ , возникающее при изгибе кабеля, должно всегда обеспечивать осевое перемещение бумажных лент и быть меньше некоторого критического значения, определяющего состояние смятия лент.

Критическая нагрузка смятия витка ленты  $N_{кр}$  находится по теории осевого сжатия цилиндрической оболочки:

$$N_{кр} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\Delta^2}{r} \sqrt[4]{4G_{xy}^2 E_x E_y}, \quad (4.21)$$

где  $r$  — радиус намотки;  $E_x$ ,  $E_y$  — модули упругости изоляции в поперечном и продольном направлениях;  $G_{xy}$  — модуль сдвига бумажной изоляции.

Из выражений (4.20) и (4.21) следует, что давление, создаваемое при изолировании, должно удовлетворять следующему неравенству:

$$p_0 \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\Delta^2 \sqrt[4]{4G_{xy}^2 E_x E_y}}{f b (1 - a) r}. \quad (4.22)$$

Данное условие определяет верхний предел плотности намотки изоляции высоковольтных кабелей после изолирования.

Таким образом, для исключения деформаций в изоляции должно соблюдаться следующее неравенство:

$$\frac{\Delta E_x}{R_0} g \leq p_0 \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\Delta^2 \sqrt[4]{4G^2_{xy} E_x E_y}}{fb(1-a)r}. \quad (4.23)$$

Следовательно, для правильного выбора режима изолирования необходимо учитывать толщину и ширину бумажных лент, свойства изоляционных бумаг (коэф-

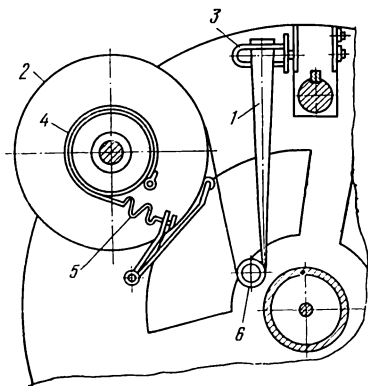


Рис. 4.14. Схема устройства для поддержания постоянства натяжения бумажных лент на изолировочной машине НЧВР (СКЕТ, ГДР).

1 — бумажная лента; 2 — ролик бумажной ленты; 3 — палец-компенсатор; 4 — тормозная лента; 5 — пружина для регулирования натяжения; 6 — неподвижный направляющий ролик.

фициент трения, модуль сдвига, модуль упругости в осевом и поперечном направлениях, коэффициент перекрытия лент при намотке, радиус намотки).

Ясно, что для обеспечения необходимой плотности намотки изоляции и исключения деформации в изоляции кабеля при изгибах, особенно при изгибах на заводе-изготовителе до пропитки изоляции, необходимо поддержание определенного натяжения бумажных лент при изолировании.

Для изолирования бумажными лентами маслонаполненных кабелей применяются обмоточные машины с большим числом бумагообмотчиков. Эти машины оборудованы специальными устройствами для поддержания постоянства натяжения каждой ленты и автоматами на остановку машины при обрыве лент.

В изолировочных машинах типа НЧВР (СКЕТ, ГДР), применяемых на отечественных кабельных заводах, постоянство заданного натяжения (в пределах  $\pm 3\%$ )

обеспечивается автоматически тормозной системой (рис. 4.14), состоящей из качающегося компенсатора и связанной с ним стальной ленты, охватывающей тормозной шкив. Если натяжение бумажной ленты начинает возрастать, например, по мере срабатывания бумажного ролика, то палец перемещается в направлении против часовой стрелки таким образом, что тормозная лента несколько ослабляется и натяжение бумажной ленты снижается. Если же натяжение становится меньше заданного, то палец перемещается по часовой стрелке, так что натяжение бумажной ленты возрастает.

Установка требуемого натяжения производится с помощью пружины путем установки специального рычага в одно из восьми положений. Для изменения натяжения в больших пределах бумагообмотчик снабжается пятью типами сменных пружин. Устройства для поддержания постоянства натяжения такого типа применяются при использовании бумажных роликов диаметром до 600 мм. Если диаметр бумажного ролика составляет 900—1250 мм (в частности, на заводах английской фирмы «Би-Ай-Си-Си»), то необходимо использовать более точные регулирующие системы, например электрические схемы с преобразованием механических усилий в электрические сигналы.

Для обеспечения необходимой плотности намотки изолирование необходимо производить в кондиционированных помещениях, где поддерживаются заданные влажность и температура воздуха. Относительная влажность воздуха в изолировочном отделении должна быть минимальной и не превышать 30%, температура 25°C. Ряд зарубежных фирм влажность поддерживает в диапазоне 10—15%.

Необходимость максимального снижения относительной влажности воздуха в изолировочном отделении объясняется следующим. Известно, что при последующей вакуумной сушке бумажной изоляции происходит уменьшение толщины бумажных лент, снижающее плотность изоляции, что не компенсируется некоторым повышением плотности за счет одновременного уменьшения длины лент. Чем ниже была относительная влажность воздуха в момент изолирования, тем меньше снижение плотности изоляции после сушки, а следовательно, тем меньше вероятность появления деформаций в изоляции. Так, переход с относительной влажности воздуха 70 на

30% позволяет без изменения толщины изоляции увеличить число бумажных лент на 8—10. В изолировочных отделениях с помощью компрессорных установок производится поддержание заданных температуры и влажности. Схема работы подобной установки показана на рис. 4.15.

При производстве маслонаполненных кабелей углы изолирования бумажными лентами должны составлять 7—15° при ширине бумажных лент от 16 до 30 мм. При меньших углах изолирования невозможно добиться устойчивого положения бумажных лент и исключения колебания размеров зазоров между ними, так как со-

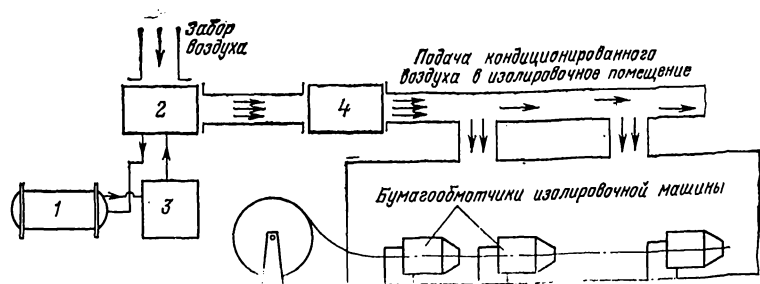


Рис. 4.15. Схема компрессорно-холодильной установки для обеспечения требуемых влажности и температуры воздуха в изолировочном отделении.

1 — испарительно-компрессорный агрегат АИК-400; 2 — калориферы охлаждающей секции кондиционера; 3 — установка для холодного рассола NaCl объемом 15 м<sup>3</sup>; 4 — калориферы нагревной секции кондиционера.

противление лент смещению вдоль оси кабеля невелико. Особенно это важно для кабелей с большой толщиной изоляции, в частности на напряжение 500 кВ.

Так как в процессе изолирования по направлению движения от отдающего устройства к приемному диаметр кабеля увеличивается, то для обеспечения постоянства угла наложения бумажных лент необходимо постепенно снижать частоту вращения обмотчиков. Поэтому по мере удаления от отдающего устройства высоковольтных изолировочных машин частота вращения обмотчиков снижается примерно втрое.

В табл. 4.6 приведена технологическая карта изолирования одной фазы маслонаполненного кабеля высокого давления марки МВДТ сечением жилы 1200 мм<sup>2</sup> на напряжение 220 кВ.



## Технологическая карта изолирования высоковольтного кабеля

№ обмотчика	Марка бумаги	Количество бумажных лент	Ширина ленты, мм	Зазор, мм	Шаг, мм	Угол изолирования	Напряжение ленты, Н	Направление намотки	Внутренний диаметр слоя, мм
1*	КПУ-120	2	19	0,5—1,0	20,6	7°42'	24,6	Левое	45,6
	КПУ-080	2	19				18,5		
	КПДУ-080	1	19				17		
	КВМСУ-080	15	19				16		
2	КВМСУ-080	20	24	0,5—1,5	25,9	9°	19	Правое	48,96
3	КВМСУ-080	20	24	0,5—1,5	25,9	8°31'	18,5	Левое	52,16
4	КВМСУ-080	20	24	0,5—1,5	25,9	8°6'	18	Правое	55,36
5	КВМСУ-080	4	24	0,5—1,5	25,9	7°36'	17,4	Левое	58,56
	КВМС-120	12	24				16		
6	КВМС-120	4	30	1,0—2,5	31,8	8°38'	16,6	Правое	62,08
	КВМС-170	12	30				33		
7	КВМС-170	16	30	1,0—2,5	31,8	8°	40	Левое	67,12
8	КВМС-170	16	30	1,0—2,5	31,8	7°24'	39	Правое	72,56
9	КВМС-170	11	30	1,0—2,5	31,8	7°6'	38	Левое	76
10*	КПД-120	1	22	1,0—2,5	—	—	—	Правое	81,74
	КПУ-120	1	22						
	ФКПП-120	1	26						

\* 1-й и 10-й обмотчики производят наложение электропроводящих экранов.

## 4.5. НАЛОЖЕНИЕ БУМАЖНОЙ ЛЕНТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЖИЛЫ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Наложение бумажной ленточной и кордельно-ленточной изоляции на жилы кабелей связи производится методом обмотки. Для изолирования обычно применяются одно- или многоходовые вертикальные машины с центральными обмотчиками.

Схема изолирования жил методом обмотки показана на рис. 4.16. Жила (проволока) диаметром 0,4—1,5 мм сходит с отдающей катушки, огибает направляющий ролик и проходит через полые валы вращающихся обмотчиков. Если машина предназначена для наложения одной бумажной ленты (рис. 4.16,а), она имеет один бумагообмотчик. В машинах для наложения кордельно-бумажной и кордельно-полиэтиленовой (рис. 4.16,б),

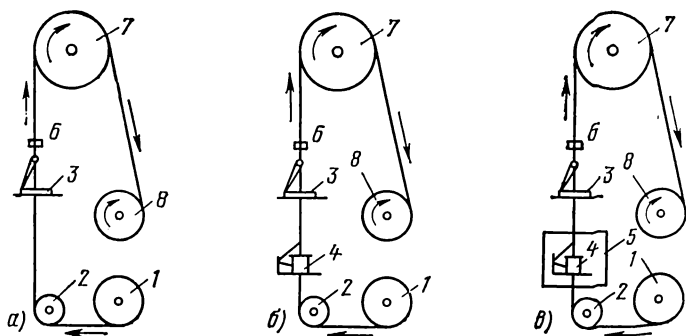


Рис. 4.16. Схемы изолирования жил кабелей связи методом обмотки. 1 — отдающая катушка; 2 — направляющий ролик; 3 — лентообмотчик; 4 — корделлеобмотчик; 5 — обогреваемая камера; 6 — калибр; 7 — тяговое колесо; 8 — приемная катушка.

а также кордельно-полистирольной (рис. 4.16,в) изоляции имеются два или три обмотчика, т. е. корделлеобмотчик и один или два лентообмотчика. У большинства машин, предназначенных для наложения кордельно-полистирольной изоляции, корделлеобмотчик заключен в обогреваемую камеру. Изолированная жила проходит через калибр, тяговое колесо и поступает на приемную катушку.

Изоляция из бумажной ленты, часто называемая трубчато-бумажной, применяется при изготовлении жил городских телефонных кабелей. Бумажная лента нало-

жена вокруг проволоки по спирали в виде полой трубки таким образом, что между проволокой и трубкой остается воздушный зазор. В настоящее время для наложения такой изоляции наибольшее распространение получили одноходовые машины, выпускаемые английской фирмой «Трафальгар» и французской «Пуртье». Эти машины снабжены быстроходными бумагообмотчиками, расположенными

внутри закрытого кожуха. Схема такого обмотчика показана на рис. 4.17. Ролик бумаги устанавливается на вращающийся горизонтальный диск с полой осью в центре. Бумажная лента, пройдя по направляющему пальцу, огибает тормозной ролик и накладывается на проволоку перед входом в калибр. Регулирование силы натяжения ленты осуществляется торможением втулки, на которую насажен ролик бумаги, и самой бумажной ленты при ее прохождении через тормозной ролик. Втулка соединяется с диском обмотчика при помощи муфты. В том случае, если используется магнитная муфта, проскальзывание зависит от магнитного поля составляющих ее магнитов. Регулирование проскальзывания муфты скольжения производят с помощью гайки. Как в первом, так и во втором случае муфта обеспечивает необходимое натяжение бумажной ленты.

Такой обмотчик устанавливается на массивной раме и при достаточной балансировке допускает обмотку жилы телефонной бумагой с частотой вращения 3400—3800 об/мин, что соответствует линейной скорости изолирования до 45 м/мин. При больших частотах вращения и недостаточной балансировке обмотчика появля-

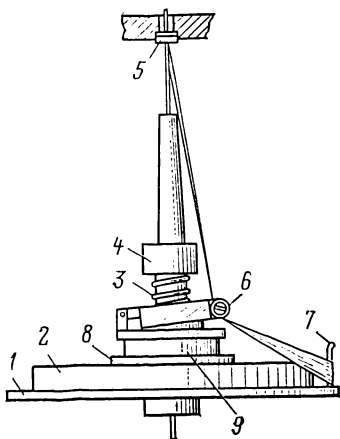


Рис. 4.17. Схема центрального бумагообмотчика машины для изолирования жил городских телефонных кабелей.

1 — вращающийся диск; 2 — ролик бумаги; 3 — пружина; 4 — гайка; 5 — уплотняющий калибр; 6 — тормозной ролик; 7 — направляющий палец; 8 — втулка, на которую насаживается бумажный ролик; 9 — муфта скольжения.

ются биения и вибрации, резко повышающие обрывность бумаги и исключают получение изоляции высокого качества. Допустимая частота вращения обмотчика зависит не только от конструкции машины, но и от механических свойств бумаги, применяемой для изолирования. Диск бумагообмотчика диаметром 350 мм позволяет укладывать ролик телефонной бумаги диаметром до 320 мм. При наличии магазина для пяти-шести запасных роликов бумаги центральный обмотчик допускает возможность работы машины в течение нескольких часов без необходимости разрезания проволоки для установки роликов бумаги взамен использованных.

Уплотняющий калибр крепится в калибродержателе, расположенном над бумагообмотчиком. В некоторых случаях на калибродержателе крепится также контактная рамка автомата, останавливающего ход при обрыве бумажной ленты или оголении проволоки. Наибольшее распространение получили составные калибры, состоящие из стальной оправки и керамической или твердосплавной вставки. Такие калибры обладают высокой стойкостью к истиранию и соответственно большим сроком службы (до 100—120 рабочих смен). Все остальные части изолировочных машин (отдающее, тяговое и приемное устройства и др.) конструктивно мало отличаются от соответствующих частей других машин, применяемых при производстве кабелей.

Разработка технологического режима изолирования методом спиральной обмотки бумажной лентой заключается в определении ширины и шага наложения бумажной ленты, ее перекрытия, а также степени обжатия бумажной трубки в калибре, определяющей диаметр изолированной жилы. Изменение всех этих величин влияет на электрические и механические свойства изоляции, расход материалов и производительность оборудования. Например, увеличение шага наложения бумажной ленты повышает линейную скорость изолирования, однако уменьшает перекрытие лент и, следовательно, снижает механическую прочность изоляции. Одновременно снижается электрическая емкость кабеля (за счет уменьшения объема твердого диэлектрика в общем объеме изоляции).

Для того чтобы рабочая емкость не превысила установленных пределов, эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость изоляции не должна пре-

вышать 1,5—1,6. Поэтому лента телефонной бумаги должна накладываться на токопроводящие жилы таким образом, чтобы между бумажной трубкой и проволокой имелся воздушный зазор. От этого зазора зависит рабочая емкость: чем зазор больше, тем емкость меньше. С этой точки зрения целесообразно увеличение диаметра бумажной трубки. Однако чрезмерное увеличение диаметра изолированной жилы приводит к возрастанию размеров готового кабеля, увеличению расхода материалов и нестабильности его электрических характеристик. За счет образования полой бумажной трубки изоляция содержит много воздуха, но одновременно проволока получает возможность перемещаться внутри трубки в поперечном направлении, что и приводит к неоднородности электрических характеристик отдельных пар. Например, при изолировании медной проволоки диаметром 0,5 мм одной лентой телефонной бумаги и применении уплотняющего калибра с внутренним диаметром 1,3 мм разброс рабочих емкостей отдельных пар по-повивам внутри кабеля марки ТГ100×2×0,5 мм на 40—50% больше, чем для такого же кабеля, жилы которого пропущены через уплотняющий калибр с внутренним диаметром 1,0 мм.

Объясняется это тем, что применение калибра диаметром 1,3 мм не обеспечивает необходимого центрирования проволоки внутри изоляции. На основании практических данных диаметр изолированной жилы  $d_1$  принимается в 2—2,4 раза больше диаметра изолируемой проволоки  $d_0$ . При проволоке диаметром 0,4 и 0,5 мм соответствующий коэффициент равен 2, а при проволоке диаметром 0,6 и 0,7 мм — 2,4. Указанная разница объясняется тем, что нормированные значения рабочей емкости в кабелях с жилами диаметром 0,6 и 0,7 мм примерно на 20% ниже, чем в кабелях с жилами, имеющими диаметр 0,4 и 0,5 мм. Но даже при оптимальных соотношениях  $d_1$  и  $d_0$  (по рабочей емкости) проволока все же обладает свободой движения внутри бумажной трубки, что приводит к неоднородности электрических характеристик пар. Уменьшить степень этой неоднородности можно за счет гофрирования бумажной ленты в уплотняющем калибре. С этой целью изолированная жила в начальной стадии образования воздушно-бумажной изоляции (до прохождения через уплотняющий калибр) имеет размер, больший, чем тот, который она

приобретает по выходе из калибра. Вследствие этого при прохождении жилы через уплотняющий калибр полая бумажная трубка сминается и на ленте образуются продольные складки (рис. 4.18).

На эффективность гофрирования оказывают влияние два фактора — ширина участка, подвергающегося гофрированию, и глубина гофрирования. Ширина участка бумаги, имеющего складки, зависит от перекрытия бумажной ленты. Складки на бумаге возникают в тех местах, где перекрытие отсутствует. Введем понятие «расчетный диаметр бумажной трубки», характеризующее диаметр неуплотненной изоляции. Глубина гофрирования зависит от степени уплотнения изоляции, определяемой отношением расчетного диаметра бумажной трубки к фактическому диаметру изолированной жилы, равному диаметру уплотняющего калибра. Указанное отношение называется коэффициентом

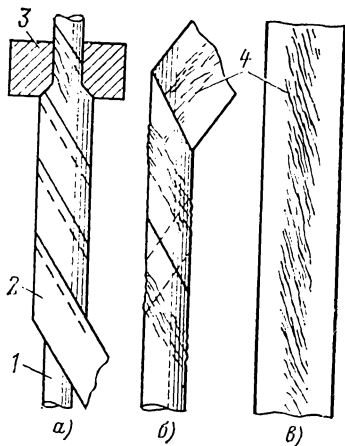


Рис. 4.18. Образование складок в бумажной изоляции при ее прохождении через уплотняющий калибр.

*а* — изолированная жила; *б* — бумажная трубка после выхода из уплотняющего калибра; *в* — развернутая бумажная лента; *1* — изолируемая проволока; *2* — бумажная лента; *3* — уплотняющий калибр; *4* — складки на изоляции.

уплотнения воздушно-бумажной изоляции и обозначается буквой  $\xi$ :

$$\xi = \frac{d_{1\text{расч}}}{d_{1\text{факт}}} = \frac{d_{1\text{расч}}}{d_{1\text{клб}}}. \quad (4.24)$$

Принимаемые в практике значения коэффициента уплотнения лежат в пределах от 1,5 до 1,25, уменьшаясь по мере возрастания диаметра изолируемой проволоки. Следовательно,

$$\begin{aligned} d_{1\text{расч}} &= \xi d_{1\text{факт}} = (1,5 \div 1,25) d_{1\text{факт}} = \\ &= (1,5 \div 1,25) (2 \div 2,4) d_0 \approx 3d_0. \end{aligned} \quad (4.25)$$

Уплотнение воздушно-бумажной изоляции способствует также уменьшению степени деформации изолированных жил при последующей скрутке их в группы (пары) и групп в кабель. Необходимо отметить, что после выхода из уплотняющего калибра диаметр изолированной жилы из-за упругости изоляции несколько возрастает.

Степень гофрирования и механическая прочность изоляции зависят от перекрытия бумажной ленты. Увеличение перекрытия нежелательно, так как, чем больше перекрытие, тем меньше в изоляции образуется складок. Кроме того, при большом перекрытии увеличивается объем бумаги в общем объеме изоляции и соответственно уменьшается количество воздуха, за счет чего возрастают эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции и, следовательно, электрическая емкость кабеля. Уменьшение перекрытия бумажной ленты снижает механическую прочность изоляции и может привести к оголению проволоки при изгибах жилы как в процессе производства, так и при монтаже кабеля. Наиболее рациональным считается перекрытие ленты, равное 25—35%.

Выбор ширины бумажной ленты непосредственно связан с установлением ее оптимального перекрытия, так как ширина ленты, так же как и ее перекрытие, влияет на эквивалентную диэлектрическую проницаемость изоляции. Для того чтобы при изолировании образовалась полая бумажная трубка диаметром, значительно большим диаметра изолируемой проволоки, расчет параметров обмотки (ширины и шага наложения бумажной ленты) производится исходя из расчетного диаметра бумажной трубки.

**Пример.** Определим параметры, обеспечивающие образование полой бумажной трубки вокруг проволоки диаметром 0,5 мм.

Среднее нормальное относительное перекрытие  $k$  принимаем равным 30%, угол обмотки при образовании полой бумажной трубки 70—75°.

Расчетный диаметр

$$d_{\text{расч}} = 3d_0 = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ мм.}$$

Ширина бумажной ленты

$$b = \frac{\pi \cdot 1,5 \sin 72^\circ 30'}{1 - 0,3} = 6,5 \approx 6 \text{ мм,}$$

а шаг ее наложения

$$h = \pi \cdot 1,5 \operatorname{tg} 72^\circ 30' = 15 \text{ мм.}$$

Типовые технологические режимы изолирования, принятые в отечественной практике, приведены в табл. 4.7. Как было указано выше, скорость изолирования в значительной мере зависит от механической прочности бумаги. В свою очередь на механические свойства бумаги большое влияние оказывает ее влажность. Естественная влажность телефонной бумаги зависит от времени года и других внешних условий. Зимой бумага имеет влажность 4—6%, а летом 6—8%. Разрывная прочность телефонной бумаги с увеличением влажности сначала растет и при влажности 9—11% достигает максимума, а затем уменьшается. Относительное удлинение с увеличением влажности непрерывно возрастает.

Таблица 4.7

**Технологические режимы изолирования жил городских телефонных кабелей лентой телефонной бумаги**

Диаметр провода, мм	Диаметр уплотняющего калибра, мм	Ширина бумажной ленты, мм	Шаг наложения бумажной ленты, мм
0,4	0,95—1,05	5—6	14—16
0,5	1,00—1,10	5—7	14—16
0,7	1,50—1,70	8—9	16—18

Так как при изолировании жил городских телефонных кабелей на производительность машин влияет и сопротивление разрыву и относительное удлинение бумаги, то наиболее целесообразным является применение бумаги с влажностью 11—14%. В состоянии поставки телефонная бумага такой влажности не имеет. В практике кабельных заводов применяются различные способы увлажнения телефонной бумаги, в том числе выдержка роликов бумаги над поверхностью воды в течение 8—10 ч (расстояние от зеркала воды до роликов бумаги около 300 мм). Известны конструкции камер увлажнения, в которых развешенные на стойках ролики бумаги выдерживаются в течение 2—3 сут при относительной влажности воздуха около 70% и комнатной температуре. Для увеличения производительности процесса изолирования целесообразно увлажнять не только ролики бумаги, но и воздух в изолировочном отделении,



## 4.6. НАЛОЖЕНИЕ КОРДЕЛЬНО-ЛЕНТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЖИЛЫ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Наложение кордельно-ленточной изоляции производится на машинах, снабженных корделеобмотчиком и лентообмотчиком, с помощью которых токопроводящую жилу последовательно обматывают корделем и лентой. Назначение корделя, накладываемого на токопроводящую жилу открытой спиралью, заключается в том, чтобы поддерживать постоянный воздушный зазор между токопроводящей жилой и трубкой, образуемой лентой при ее наложении на жилу, обмотанную корделем. Бумажным корделем называется нить, скрученная из телефонной бумаги шириной 5—10 мм. Основным требованием, предъявляемым к корделю, является равномерность его диаметра по всей длине, определяющая стабильность электрических характеристик кабеля: рабочей емкости емкостных связей и др.

Схемы простейших корделе- и лентообмотчиков для наложения кордельно-бумажной изоляции показаны на рис. 4.19 и 4.21. Кордель сходит с бобины, огибает направляющий палец, укрепленный на диске, проходит через отверстие в головке обмотчика и обматывает проволоку, которая проходит снизу вверх через полую ось корделеобмотчика. Во избежание раскручивания гильзы с корделем при вращении обмотчика и для создания необходимого натяжения корделя на диске установлен тормоз. Натяжение корделя регулируется при помощи пружины, прижимающей тормозную рамку к бобине корделя. Для предотвращения необходимости разрезания проволоки после использования бобины корделя картонная гильза, на которую наматывается кордель, делается разрезной. После сматывания корделя гильза благодаря продольному разрезу снимается с диска, а из магазина запасных бобин, расположенного над корделеобмотчиком, опускается очередная бобина корделя.

Широко также применяются корделеобмотчики, в которых бобина корделя устанавливается внутри вращающегося металлического стакана (рис. 4.20). При вращении корделеобмотчика наличие стакана уменьшает сопротивление воздуха и тем самым снижает обрывность корделя. Кроме того, благодаря трению о поверхность стакана достигается более плавное и сильное торможение корделя по сравнению с торможением на роликах

обычного корделеобмотчика. Через щель в стакане кордель выходит наружу и, огибая ролик, укрепленный на внешней поверхности стакана, поступает в головку обмотчика, где и накладывается на проволоку. Для уменьшения износа трущихся частей, уменьшения вибраций и повышения скоростей изолирования обмотчик установ-

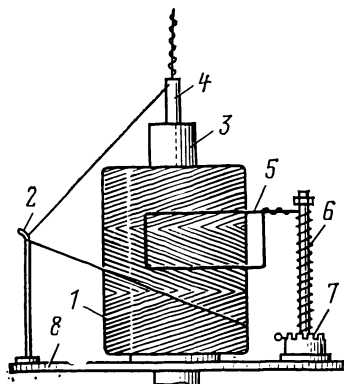


Рис. 4.19. Схема обмотчика для наложения бумажного корделя.

1 — бобина с корделем; 2 — направляющий палец; 3 — гильза; 4 — головка обмотчика; 5 — тормозная рамка; 6 — пружина; 7 — фигурный упор пружины; 8 — диск корделеобмотчика.

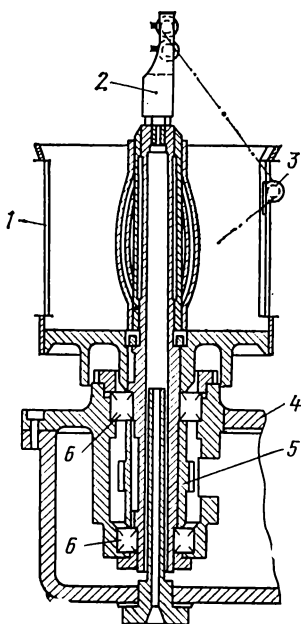


Рис. 4.20. Корделеобмотчик с металлическим стаканом.

1 — металлический стакан; 2 — головка обмотчика; 3 — ролик; 4 — крышка коробки; 5 — приводная шестерня; 6 — подшипники.

ливаются в шарикоподшипниках, а шестерня обмотчика заключается в металлическую коробку, заполненную маслом.

Проволока, обмотанная бумажным корделем, поступает в бумагообмотчик центрального типа, общий вид которого показан на рис. 4.21. Бумажная лента, сходя с ролика, огибает два направляющих пальца и проходит во вращающийся калибр, укрепленный в полую ось бумагообмотчика. Торможение ролика бумаги осуществляется при помощи хомутика, вращающегося вокруг вала обмотчика. К хомутику прикреплен палец, входящий в отверстие, имеющееся во втулке бумажного ролика. Регулируя положение винта, можно стягивать и ослаб-

лять хомутик, внутренняя сторона которого сделана из кожи, и тем самым изменять разность относительных частот вращения ролика бумаги и диска, жестко сидящего на оси, а следовательно, и натяжение бумажной ленты. Для предотвращения необходимости разрезания жилы при установке роликов бумаги над бумагообмот-

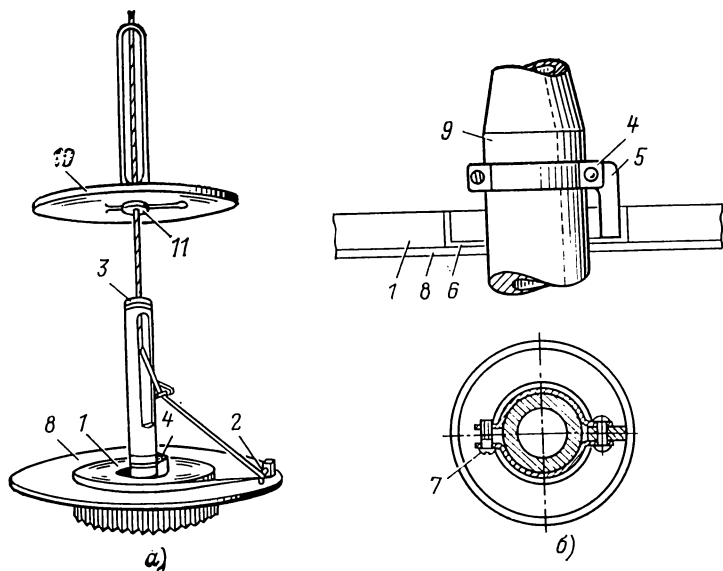


Рис. 4.21. Бумагообмотчик кордельно-изолировочной машины.

*а* — общий вид; *б* — приспособление для торможения ролика бумаги; 1 — ролик бумаги; 2 — направляющий палец; 3 — вращающийся калибр; 4 — хомут; 5 — палец; 6 — втулка бумажного ролика; 7 — винт; 8 — диск обмотчика; 9 — ось обмотчика; 10 — запасной ролик; 11 — неподвижный калибр.

чиком располагается магазин с запасными роликами. В полый оси магазина, одновременно служащей калибрдержателем, укрепляется неподвижный калибр, придающий жиле окончательный размер.

Обычно кордельно-изолировочные машины изготавливают двухъярусными, как это схематически показано на рис. 4.16,б — бумагообмотчик располагают выше корделеобмотчика. В последнее время в одноходовых машинах с индивидуальным приводом бумагообмотчик располагают рядом с корделеобмотчиком. В этом случае удастся уменьшить высоту машины и тем самым облегчить ее обслуживание.

На рис. 4.22 приведен общий вид одноярусной одноходовой изолирующей машины для наложения кордельно-бумажной изоляции. Основные технические данные этой машины приведены в табл. 4.8.

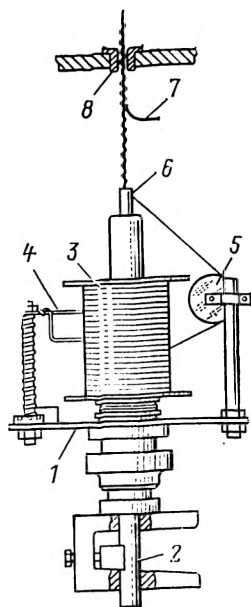
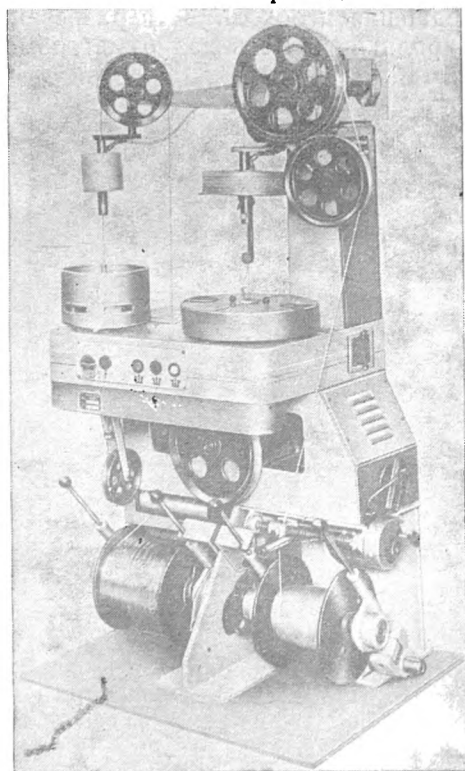


Рис. 4.22. Общий вид машины ДКУ для наложения кордельно-бумажной изоляции (ВНР, «Дигеп»).

Рис. 4.23.

Рис. 4.23. Схема центрального корделеобмотчика для наложения полистирольного корделя.

1 — металлический диск; 2 — полая ось; 3 — катушка с корделем; 4 — тормозная рамка; 5 — ролик; 6 — головка обмотчика; 7 — пружинный контакт автомата; 8 — калибр.

Особенности машин для наложения кордельно-полистирольной изоляции сравнительно с описанными выше машинами для наложения кордельно-бумажной изоляции обусловлены свойствами полистирольного корделя

Таблица 4.8

## Основные технические характеристики машин для наложения кордельно-ленточной изоляции

Характеристика	Машины для наложения кордельно-бумажной изоляции			Машины для наложения кордельно-полистирольной изоляции		
	„Графальгар“ (Англия)	„Пуртье“ (Франция)	„Дигеп“ (ВНР) ДКУ-1В	„Дигеп“ (ВНР) ДКХ-1В	„Дигеп“ (ВНР) ДКХ-1С	„Класрепол“ (ФРГ)
Диаметр изолируемой проволоки, мм	0,4—1,2	0,4—1,2	0,4—1,6	0,4—1,6	0,4—1,2	0,4—2,0
Частота вращения корделеобмотчика, об/мин	8950	8000	7400	3067	5636	5000
Частота вращения лентообмотчика, об/мин	3400	3000	4000	1465	1762	3000
Шаг наложения корделя, мм	2,6—11,4	5—15	4—15	4—20	5,5	8—12
Шаг наложения ленты, мм	7—30	16—35	10—20	12—30	17,6	5—25
Размеры отдающей катушки, мм	400×300	400×300	410×315	410×260	310×300	—
Размеры приемной катушки, мм	400×300	400×300	410×355	410×260	380×205	—
Линейная скорость изолирования, м/мин	48	45	50	20—25	20—30	24
Производительность за 8 ч при обслуживании пяти машин, км	80—100	80—100	60—80	25—30	30—35	20

(нити). В связи с тем, что полистирольный кордель обладает большой хрупкостью, при изолировании прибегают к его подогреву. Вследствие малой гибкости и гладкой поверхности полистирольный кордель не допускает крестовой намотки на гильзы. Поэтому на ось обмотчика устанавливаются не гильзы, а катушки с корделем.

Схема обмотчика для наложения полистирольного корделя показана на рис. 4.23. Обмотчик состоит из вращающегося горизонтального металлического диска, в центре которого укреплена полая ось. Катушка с корделем вертикально надевается на ось и притормаживается тормозной рамкой. Кордель сходит с катушки, огибает вращающийся ролик и направляется в головку обмотчика. Над головкой обмотчика располагается пружинный контакт автомата, останавливающего ход при обрыве корделя, и калибр. Во избежание обрывности при повышенных скоростях изолирования кордель нагревают до 65—70°C. Для этой цели весь обмотчик заключают в камеру, внутрь которой подают горячий воздух.

Лентообмотчики, предназначенные для наложения полистирольной ленты, отличаются от обычных центральных бумагообмотчиков конструкцией вертикальной оси, которая в данном случае одновременно является направляющей поверхностью для ленты. Установка ролика ленты осуществляется при помощи пластмассовой втулки, которая насаживается на коническую пружинную втулку обмотчика. На втулке имеется хомут, который охватывает цилиндрическую ось обмотчика. Регулирование натяжения ленты производят путем затягивания или ослабления хомута. Полистирольная лента, применяемая для изолирования жил, имеет толщину 0,05 мм, достаточно эластична и при наложении на жилы не нуждается в нагреве.

Общий вид одноходовой машины ДКХ-1С для наложения кордельно-полистирольной изоляции производства завода «Дигеп» (ВНР) показан на рис. 4.24.

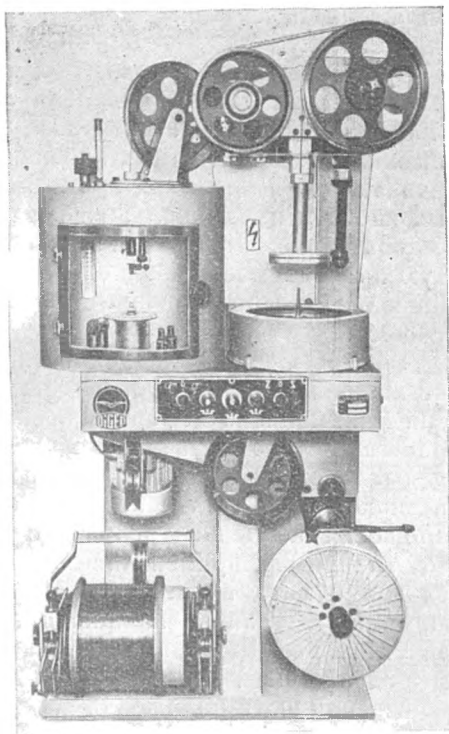
В последнее время изготовление корделя производится из смеси, содержащей 70% полистирола и 30% ударопрочного полистирола, что резко повышает гибкость корделя и позволяет производить изолирование жил при 20—30°C.

Основным требованием, предъявляемым к технологическому режиму изолирования жил симметричных кабелей дальней связи, является обеспечение максималь-

ной однородности изолированных жил и особенно комплектов четырех жил, из которых в дальнейшем скручивается четверка.

Геометрическая однородность жил зависит от колебаний диаметров проволоки и корделя, смятия корделя и непостоянства шага его наложения, допусков на толщину ленты и ряда других факторов, в том числе от точности, с которой выдерживается диаметр выходных калибров, и т. д. Неоднородность диаметра токопроводя-

Рис. 4.24. Общий вид машины ДКХ-1С для наложения кордельно-полистирольной изоляции.



щей жилы по длине кабеля и в сравнении с соседними жилами приводит к возникновению электрической и емкостной асимметрии. Эта неоднородность диаметра связана с разработкой волок в процессе волочения и не может быть полностью устранена. Для уменьшения асимметрии, обусловленной неоднородностью диаметра жилы, целесообразно ужесточить допуски на медную

проволоку, применяемую в производстве кабелей дальней связи и в первую очередь высокочастотных симметричных кабелей. Проволока диаметром 0,8—1,4 мм изготавливается с допуском  $\pm 0,02$  мм. Для проволоки диаметром 1,2 мм, применяемой при производстве высокочастотных кабелей, допуск равен  $\pm 0,005$  мм.

Широко применяется изготовление разговорной пары и даже всей четверки из проволоки, находящейся на одной катушке (или в одной бухте). Для этого необходимо изолировать в одной машине последовательно обе или все четыре жилы, образующие разговорную пару или четверку.

При изолировании жил низкочастотных кабелей дальней связи диаметр корделя  $d_k$  берут равным примерно половине диаметра проволоки  $d_0$ . При изолировании жил высокочастотных кабелей диаметр корделя увеличивают до  $2/3 d_0$ . Благодаря этому жилы высокочастотных кабелей имеют больший воздушный промежуток и, следовательно, меньшие эквивалентную диэлектрическую проницаемость изоляции и электрическую емкость. Наиболее распространенные шаги наложения корделя 5—8 мм.

Для достижения однородности диаметра изолированной жилы в процессе производства должна быть обеспечена минимальная деформация изоляции. С этой целью прибегают либо к увеличению числа слоев ленты, наклеиваемой поверх спирали из корделя, либо к увеличению перекрытия лент или же к уменьшению шага наложения корделя. Увеличение числа и перекрытия лент (например, применение обмотки двумя лентами кабельной бумаги вместо одной) хотя и уменьшает деформацию изоляции, но приводит к увеличению геометрических размеров кабеля. Лучшие результаты дает уменьшение шага наложения корделя с 8 до 5 мм. При уменьшении шага наложения корделя образованная лентой трубка имеет больше точек опоры по длине жилы и поэтому меньше сминается.

При смятии изоляции кордель и изолированная жила приобретают форму, близкую к эллипсу. Отношения малых осей этих эллипсов к первоначальному диаметру окружностей характеризуют соответственно коэффициенты смятия корделя  $K_c$  и изолированной жилы  $K_{см}$ .

На коэффициент смятия изолированной жилы влияет попадание витков корделя одной жилы между вит-



ками корделя соседней жилы  $K_B$ . Можно считать, что

$$K_{см} = K_C K_B. \quad (4.26)$$

Каждый из трех перечисленных коэффициентов ( $K_C$ ,  $K_B$  и, следовательно,  $K_{см}$ ) меньше единицы. Желательно, чтобы смятие жилы равнялось нулю и соответственно коэффициент смятия был равен единице. Для получения  $K_{см}=1$  необходимо, чтобы оба составляющих коэффициента приближались к единице. Коэффициент смятия бумажного корделя лежит в пределах 0,9—0,7. Полистирольный кордель практически несминаем и для него  $K_C=1$ . Для получения  $K_B=1$  большое значение имеют материал и перекрытие ленты, шаг и способ наложения корделя. Применение полистирольной ленты благодаря ее упругости позволяет даже несмотря на незначительную толщину ленты (0,05 мм), получать практически несминаемую изоляционную трубку.

Выше отмечалось, что процесс изолирования жил полистирольной нитью и пленкой несколько усложняется вследствие недостаточной гибкости корделя. При комнатной температуре полистирольный кордель и лента обладают значительно худшими механическими характеристиками, чем бумажный кордель и кабельная бумага. При нагреве полистирольных нитей и лент их разрывная прочность и гибкость увеличиваются. Как было указано выше, с точки зрения механических характеристик оптимальной температурой среды в месте наложения корделя, изготовленного из полистирола, является 65—70°C. Для изолирования жил применяются кабельная бумага толщиной 0,12, реже 0,17 мм. Направления обмотки лентой и обмотки корделем во всех случаях должны быть взаимно противоположными. При наложении двух лент направления обмотки лентами также чередуются.

Расцветка жил кабелей с кордельно-бумажной изоляцией осуществляется путем применения окрашенной бумаги. Расцветка жил кабелей с кордельно-полистирольной изоляцией чаще всего достигается за счет использования цветного корделя и прозрачной бесцветной ленты. В некоторых странах, например ГДР, применяют бесцветный кордель и цветную ленту. Обычно применяются следующие цвета жил в парах, составляющих четверку: 1-я пара — красная и желтая; 2-я пара — зеленая и синяя.

Применяемая ширина бумажных и полистирольных лент в зависимости от диаметра проволоки лежит в пределах 9—14 мм. Перекрытие лент составляет 25—35%. Угол обмотки при изолировании жил кабелей дальней связи меньше, чем при изолировании жил городских телефонных кабелей, и равен 50—60°

Диаметр выходных калибров, придающих изолированной жиле окончательный размер, определяется по следующей формуле:

$$d_{\text{клб}}=d_1=d_0+2d_{\text{к}}K_{\text{с}}+3n\Delta_{\text{л}}, \quad (4.27)$$

где  $d_{\text{клб}}$  — диаметр калибра, мм;  $d_1$  — диаметр изолированной жилы, мм;  $d_0$  — диаметр проволоки, мм;  $d_{\text{к}}$  — диаметр корделя, мм;  $K_{\text{с}}$  — коэффициент смятия корделя;  $\Delta_{\text{л}}$  — толщина ленты, мм;  $n$  — число лент.

При наложении кордельно-ленточной изоляции стремятся смятие изоляции жил, вызываемое соприкосновением с соседними жилами в четверке, свести к минимуму. Для этого на соседние жилы кордель накладывают в одну сторону, но с разными шагами или с одинаковыми шагами, но в разные стороны. Так, в ГДР на красную и желтую жилы кордель накладывают с шагом 6,0 мм, а на синюю и зеленую — 7,4 мм. В СССР шаг наложения корделя на все жилы, составляющие четверку, одинаков (5,5 мм), однако на красную и желтую жилы кордель накладывают в левую сторону, и на синюю и зеленую — в правую.

## 4.7. НАЛОЖЕНИЕ БУМАЖНОЙ И ПЛЕНОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Обмоточные провода с бумажной и пленочной изоляцией выпускаются круглого и прямоугольного сечения, медные и алюминиевые. Изоляция этих проводов накладывается методом обмотки, причем при наложении пленочной изоляции в ряде случаев после обмотки производится тепловая обработка движущегося провода в печах. Применение синтетических пленок позволяет повысить нагревостойкость изоляции провода и при необходимости обеспечить получение заданной герметичности изоляции, например при работе обмоточных проводов в воде или смеси воды с нефтью и различными маслами.

При изготовлении обмоточных проводов с бумажной изоляцией применяются тангенциальные или полутангенциальные обмотчики с устройством для постоянного натяжения бумажной ленты при изменении диаметра бумажного ролика (рис. 4.25). Лентообмотчики снабжены устройствами, отключающими машину при сходе или обрыве бумажной ленты. Направление наложения изоляции может изменяться. Изменение направления наложения изоляции обычно производится через восемь лент. Шаг обмотки бумажных лент при изготовлении

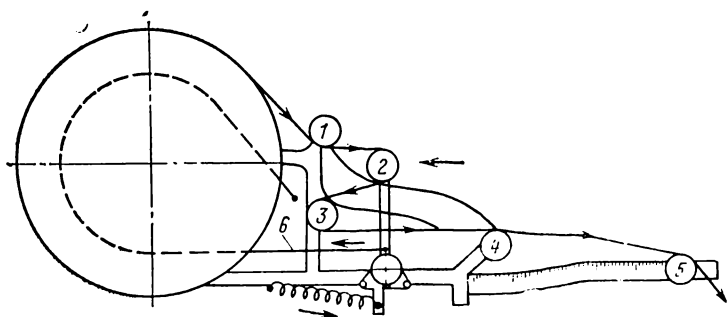


Рис. 4.25. Схема автоматического регулирования натяжения бумажной ленты.

проводов сечением до  $75 \text{ мм}^2$  должен быть не более 30 мм, свыше  $75 \text{ мм}^2$ —35 мм. Концы бумажных лент, находящихся в ролике, закрепленном в лентообмотчике, подклеиваются к проволоке. При изготовлении обмоточных проводов с бумажной изоляцией применяется обмотка с перекрытием и с зазором. Обмотка с перекрытием используется для наложения на проволоку первого слоя с целью повышения электрической прочности провода, а также для наружного слоя, что повышает гладкость поверхности. Обмотка с перекрытием в то же время снижает эластичность и механическую прочность изоляции, поэтому кроме указанных случаев она применяется тогда, когда число накладываемых лент не более трех. Многослойная бумажная изоляция, обмоточных проводов накладывается методом обмотки с зазором, не превышающим 2,0 мм. Допускаемое количество совпадений бумажных лент не должно превышать одного при числе лент от 4 до 8, двух при числе лент от 9 до 16

и трех при числе лент свыше 16. Совпадения не допускаются при числе бумажных лент три и менее. Совпадение зазоров трех лент, расположенных одна над другой, считается за два совпадения, двух — за одно. Количество бумажных лент в изоляции отечественных обмоточных проводов составляет от 3 до 27 в зависимости от общей толщины изоляции и типа применяемой бумаги. Для изоляции обмоточных проводов применяется телефонная бумага толщиной 0,05 мм, кабельная бумага толщиной 0,08 и 0,12 мм, кабельная высоковольтная бумага толщиной 0,08 мм. Ширина бумажной ленты в зависимости от диаметра обматываемой проволоки и угла обмотки может быть определена с помощью номограммы, показанной на рис. 4.3.

Линейная скорость изолирования, частота вращения лентообмотчиков и ширина бумажных лент при изготовлении наиболее распространенных обмоточных проводов с бумажной изоляцией — марок ПБ АПБ — приведены в табл. 4.9. В табл. 4.10 приведены аналогичные характеристики проводов марок ПБУ и АПБУ (с усиленной изоляцией), применяемых для изготовления обмоток мощных высоковольтных трансформаторов.

При изготовлении обмоточных проводов с бумажной изоляцией отдающее устройство обмоточной машины должно обеспечивать возможность регулировки натяже-

Таблица 4.9

**Линейная скорость изолирования, частота вращения лентообмотчиков и ширина бумажных лент при изготовлении проводов марок ПБ и АПБ**

Марка обмоточной машины	Периметр сечения проволоки, мм	Линейная скорость, м/с	Частота вращения лентообмотчика, об/мин	Ширина бумажной ленты, мм		
				верхней	нижней	остальных
ОГ-8; ОГ-12	10,2—12,4	0,95—0,11	500	10—12	10—11	7—9
	12,5—18,8	0,11—0,13		12—16	9—12	12—15
	18,9—24,8	0,14—0,17		16—19	12—16	15—18
	24,9—25,6	0,17—0,19		19—22	16—17	18—21
	25,7—33,5	0,19—0,22		22—24	17—19	21—23
	33,6—50,0	0,22—0,25		24—28	19—24	23—26
О-8М	8,0—10,1	0,18—0,24	700	9—12	6—9	8—10
	10,2—12,0	0,24—0,27		12—14	9—11	10—12
	12,1—14,3	0,27—0,32		14—16	11—13	12—14
	14,4—19,8	0,32—0,33		16—20	13—17	14—18
	19,9—26,0	0,33		20—22	17—19	18—21

**Линейная скорость изолирования, частота вращения лентообмотчиков и ширина бумажных лент при изготовлении проводов марок ПБУ и АПБУ**

Марка обмоточной машины	Периметр сечения проволоки, мм	Линейная скорость, м/с	Частота вращения лентообмотчика, об/мин	Ширина бумажной ленты, мм		
				верхней	нижней	остальных
ОГ-24;	17,0—23,0	0,16—0,19	390—402	19—22	16—20	14—18
ОГ-32;	23,1—28,0	0,18—0,21	390—402	22—25	20—24	18—21
ОГ-48	28,1—35,0	0,19—0,21	402—212	25—26	24—26	21—22
	35,0—43,0	0,19—0,21	402—412	26—28	26—28	22—24
	43,1—49,2	0,19—0,21	402—425	27—28	27—28	23—24

ния проволоки в пределах от 100 до 400 Н и остановку машины при сходе конца проволоки с отдающей катушки или запутывании витков. Правильное приспособление должно состоять из системы горизонтальных роликов и обеспечивать выпрямление проволоки по большей стороне сечения от местных изгибов. Обмоточная машина должна иметь устройство для очистки поверхности проволоки, выполненное в виде войлочного или фетрового протира или же двух вращающихся щеток с волосяной или капроновой набивкой, симметрично расположенных относительно большей стороны сечения проволоки. Тяговое устройство должно обеспечивать равномерную скорость движения провода, а приемник желателен иметь напольного типа

Изготовление обмоточных проводов с изоляцией из синтетических пленок производится на обмоточных машинах таких же типов, которые применяются для наложения на проволоку изоляции из бумажных лент. Наибольшее применение для изоляции обмоточных проводов получила лавсановая (полиэтилентерефталатная) пленка, которая при достаточно высокой нагревостойкости (120°C) имеет хорошую механическую прочность на разрыв и поэтому технологична в процессе обмотки. Число лавсановых пленок, накладываемых на проволоку, не превышает четырех. Перекрытие при обмотке проволоки такой пленкой должно составлять не менее 15%. Шаг обмотки пленкой должен быть не более 30 мм для всех круглых проводов и прямоугольных сечением до 50 мм<sup>2</sup>, не более 40 мм — для проводов сечением 50—75 мм<sup>2</sup> и не более 50 мм — для проводов сечением свыше 75 мм<sup>2</sup>.

При изготовлении обмоточных проводов, применяемых в погружных электродвигателях и эксплуатируемых в масляной среде, для повышения механической и электрической прочности изоляции лавсановая пленка подклеивается к проволоке и соседней пленке лаком на основе полиэфирной смолы с последующей тепловой обработкой при 180—200°C в течение 5 мин.

При изготовлении некоторых типов обмоточных проводов в качестве изоляции используется пленка из политетрафторэтилена или полиимидная пленка, дублированная слоем политетрафторэтилена. В этом случае после наложения пленки методом обмотки производится тепловая обработка с целью герметизации изоляции. Этот процесс подробно будет изложен в гл. 6. При обмотке такими пленками предъявляются повышенные требования к равномерности шага и угла обмотки по всей длине изолируемого провода. Обмотка дублированными полиимидными пленками должна производиться в отдельном помещении и в условиях, исключающих попадание загрязнений между лентами изоляции, так как после изготовления провода подвергаются испытаниям высоким напряжениям в связи с тем, что они предназначены для эксплуатации при достаточно больших напряженностях электрического поля.

#### **4.8. НАЛОЖЕНИЕ ЛЕНТОЧНОЙ ФТОРОПЛАСТОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МОНТАЖНЫХ ПРОВОДОВ И РАДИОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ**

Пленку из политетрафторэтилена (фторопласта-4) толщиной 0,020—0,100 мм изготавливают путем строжки пресованного и термически обработанного блока (цилиндра) фторопласта. Рулон пленки с помощью приспособления, в котором закреплены ножи, нарезают на ленты шириной 6—25 мм и принимают в ролики диаметром 200—250 мм.

Изготовление бортовых и монтажных проводов методом обмотки производят на вертикальных обмоточных машинах модели ВИМ с центральными обмотчиками. Над каждым обмотчиком размещен накопитель для роликов ленты, позволяющий не разрезать заготовку провода по окончании ленты в ролике. Втулку ролика снимают через разрез, освобождают нижний ролик на накопителе, вставляют чеку, удерживающую ролики в накопителе, и устанавливают ролик в обмотчик, направляют ленту на жиле и пускают обмотчик машины. Используют также другие обмоточные машины, приспособленные для обмотки лентой.

Изолированные методом обмотки лентами монтажные провода пропускают через печь, представляющую собой обогреваемую камеру, снабженную отдающим и приемным механизмами. Для спекания изоляции проводов используется также многоходовой эмаль-агрегат типа ПГЗ-5/15.

Наложение политетрафторэтиленовой ленточной изоляции при изготовлении радиочастотных кабелей производят в горизонтальной лентообмоточной машине модели ГИМ с эксцентричными полугангенциальными обмотчиками. Поскольку электрические характеристики радиочастотных кабелей в сильной степени зависят от наружного диаметра, особое внимание должно уделяться использованию лент с малыми допусками по толщине и обеспечению жестких допусков общей толщины изоляции.

## 4.9. НАЛОЖЕНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

В процессе изготовления обмоточных проводов одной из основных технологических операций является изолирование их волокнами — натуральными (шелк, хлопчатобумажная пряжа), синтетическими (лавсан, капрон) или стеклянными. При расчете технологического режима определяются шаг обмотки, количество волокон в прядке, используемой для обмотки, скорость обмотки. Если шаг обмотки обозначить  $h$ , толщину изоляции  $\delta$ , а угол наложения пряжи на проволоку  $\alpha$ , то для провода диаметром  $d$

$$h = \pi(d + \delta) \operatorname{tg} \alpha. \quad (4.28)$$

Обычно эта зависимость изображается графически (см. рис. 4.4), что облегчает определение требуемых параметров в производственных условиях. При построении диаграммы (рис. 4.24) по оси абсцисс откладывается значение  $d + \Delta$ , а по оси ординат — значение  $h$ . Прямые наклонные линии на диаграмме соответствуют различным углам обмотки  $\alpha$ . Подобные диаграммы строятся обычно для различных диапазонов диаметров различных проводов и отдельно для проводов прямоугольного сечения. В последнем случае вместо длины окружности  $\pi(d + \Delta)$  в формулу (4.28) следует подставлять значение периметра изолируемой прямоугольной проволоки с учетом толщины изоляции и закруглений, указанных в стандарте на провода:

$$P_1 = P_0 + 3,14\Delta - 1,72r, \quad (4.29)$$

где  $P_0$  — периметр проволоки без учета закруглений на углах;  $r$  — радиус закругления;  $P_1$  — расчетный пери-

метр прямоугольного провода с учётом толщины изоляции и радиуса закругления.

При расчете технологических режимов после определения шага обмотки и ширины пряди по заданной толщине изоляции определяется число нитей в пряди. Для этого используются зависимости ширины пряди от числа нитей, при построении которых учитывается кроющая способность или настильность нити, т. е. ширина нити после расплющивания при обмотке проволоки.

На практике для различных типов обмоточных проводов используются таблицы, в которых в зависимости от марки и диаметра изготовленного провода указывается количество нитей (табл. 4.11). Шаг обмотки в за-

Таблица 4.11

**Количество нитей в пряди при изолировании натуральными и синтетическими волокнами**

Диаметр провода, мм	Количество нитей при обмотке проводов волокнами				
	натуральным шелком 1,89 текс (№ 529), провод ПЭЛШО	волокном капрон 5 текс (№ 200), провода ПЭЛШКО, ПЭШКД	волокном лавсан 1,1 текс (№ 90), провода ПЭЛЛО, ПЭТЛО, ПЭВЛО, ПЭГЛО	хлопчатобумажной пряжей	
				5,9 текс (№ 170)	7,5 текс (№ 133)
				провода ПЭЛБО, ПЭВБД, ПЭЛБД	
0,05—0,09	3—6	—	—	—	—
0,10—0,19	6—12	—	—	—	—
0,20—0,35	8—16	4—8	3—4	—	—
0,36—0,69	14—27	8—12	5—7	12—20	—
0,70—1,0	23—29	12—16	6—9	15—25	15—18
1,01—1,56	29—32	13—12	9—11	—	16—25
1,62—2,10	—	—	—	—	16—26

висимости от параметров применяемого оборудования определяется по формуле

$$h = \pi D_T \frac{n_T}{n_{об}}, \quad (4.30)$$

где  $D_T$  — диаметр тягового колеса, мм;  $n_T$  — частота вращения тягового колеса, об/мин;  $n_{об}$  — частота вращения обмотчика, об/мин.



Шаг обмотки устанавливается путем регулирования линейной скорости провода и частоты вращения обмотчиков.

При изготовлении обмоточных проводов с изоляцией из натуральных и синтетических волокон используются отечественные обмоточные машины. Основные параметры технологии обмотки этими волокнами приведены в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Линейная скорость провода и частота вращения обмотчиков при изготовлении обмоточных проводов с волокнистой и эмалево-волокнистой изоляцией

Диаметр провода, мм	Наименование обмоточных машин	Линейная скорость, м/мин	Частота вращения обмотчика, об/мин
0,05—0,35	28-ходовые обмоточные машины типа 01-28-Э	4—12	6600—8400 и 10 000
0,38—1,56	16-ходовые обмоточные машины типа 02-16-Э	3—10	1500—6300
1,0—2,10	6-ходовые обмоточные машины типа 02-6-М	1,6—6	1000—2000

При наложении изоляции из натуральных и синтетических волокон в зависимости от диаметра изолируемого провода шаг обмотки составляет 1,3—2,0 мм, из хлопчатобумажной пряжи — 2,6—3,0 мм. Волокнистая изоляция накладывается методом обмотки встык без каких-либо заметных утолщений. На катушке, в бухте или на барабане с проводом не должно быть более пяти оголенных мест (до эмалевой изоляции или поверхности проволоки) длиной до 200 мм, обусловленных пропуском одной или двух ниток или колебаниями шага обмотки. При изготовлении высокочастотных проводов на длине провода 25 м количество утолщенных мест должно быть не более одного, причем в зависимости от сечения провода утолщение волокнистой изоляции по отношению к максимальному диаметру провода не должно превышать 5—20%. При двухслойной обмотке волокнами направления наложения первого и второго слоев должны быть противоположными. Это обеспечивает повышенную гибкость готового провода и резко уменьшает закручивающие усилия. Некоторое закручивание провода вокруг своей оси, определяемое упругостью обмотки,

приводит в ряде случаев к образованию на проводе так называемых «барашков». При использовании такого провода для изготовления секций электрических машин и особенно бескаркасных обмоток - готовая секция после снятия ее с шаблона перекручивается, образует «восьмерки». Установлено, что причиной закручивания провода вокруг своей оси является затяжка его прядью. Для уменьшения такого явления кроме наложения слоев обмоток в противоположных направлениях необходимо регулировать натяжение пряди на верхнем и нижнем обмотчиках в определенных пределах, а также следить за тем, чтобы при сходе с отдающего устройства изолированная проволока не закручивалась вокруг своей оси. При наложении одного слоя обмотки для устранения перекручиваний рекомендуется обмотку провода производить на нижнем обмотчике, а провод пропускать через гладилку или шипцы верхнего обмотчика, вращающегося в противоположном направлении.

Снятие упругих деформаций в изоляции проводов из синтетических волокон может производиться и у потребителей путем тепловой обработки провода при 130—160°C в течение 3—6 ч.

Обмотка является также одной из основных технологических операций при изготовлении проводов со стекловолоконистой изоляцией. Так как стекловолокно имеет повышенную стойкость против истирающих усилий, то обмотка из этого волокна подклеивается нагревостойким лаком к проволоке, а затем последовательно производится пропитка и лакировка слоев изоляции. Принципиально для процесса наложения стекловолоконистой изоляции методом обмотки характерны те же закономерности, что и для обмотки натуральными и синтетическими волокнами. Расчет числа стеклянных нитей в зависимости от шага обмотки и диаметра или периметра сечения провода производится по специальным номограммам. После определения ширины пряди по зависимостям, приведенным на рис. 4.26, определяется требуемое число нитей стекловолоконной. Для круглых проводов и проводов прямоугольного сечения до 12 мм<sup>2</sup> включительно с температурным индексом не выше 155 допускается применение лавсановых или капроновых нитей в количестве не более 10% общего количества стеклянных нитей, необходимых для обмотки провода. Добавленные синтетические нити должны быть равномерно

распределены по ширине пряди между стеклянными нитями. При последующем нагревании движущегося провода в печи стеклообмоточного агрегата эти нити расплавляются и подклеивают обмотку к проволоке, а стеклянные нити склеиваются между собой. Линейная скорость движения провода при наложении стекловолоконистой изоляции определяется не частотой вращения обмотчиков, а временем, необходимым для поликонденсации подклеивающего и пропитывающего лака в печи. Основ-

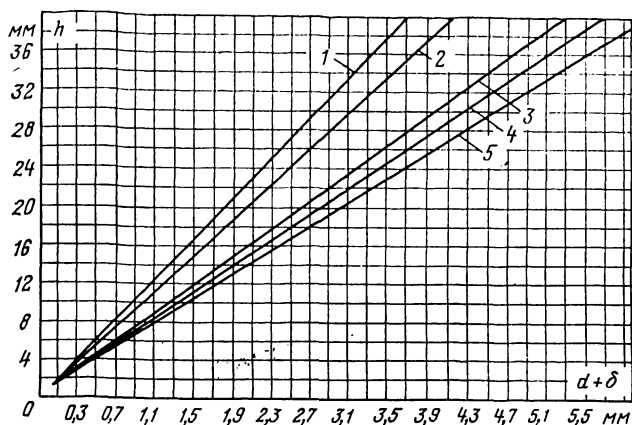


Рис. 4.26. Зависимость ширины пряди от числа стеклянных нитей. 1 — стеклянные нити БС3-1,8×2; 2 — стеклянные нити БС4-3,4×1×2; 3 — стеклянные нити БС6-6,8×1×2 (для проводов сечением более 14 мм<sup>2</sup>); 4 — стеклянные нити БС6-6,8×1×2 (для проводов сечением до 14 мм<sup>2</sup>); 5 — стеклянные нити БС6-13×1.

ные технологические параметры изготовления обмоточных проводов со стекловолоконистой изоляцией, подклеенной и пропитанной глифталевым лаком (температурный индекс проводов 155), приведены в табл. 4.13. Аналогичные режимы используются и при изготовлении проводов с применением кремнийорганического лака (температурный индекс 180), однако температура в печи должна быть примерно на 100—120°С выше. Обмотка проволоки высоконагревостойкими, но более хрупкими кварцевыми волокнами производится при меньших скоростях. Стеклообмоточные агрегаты при изготовлении проводов с такой изоляцией должны быть отлажены и модернизированы таким образом, чтобы изгибаю-

щие и истирающие усилия, действующие на кварцевую изоляцию, были минимальными.

Таблица 4.13

**Основные технологические параметры изготовления обмоточных проводов со стекловолоконистой изоляцией**

Диаметр проволоки, мм, или сечение, мм <sup>2</sup>	Тип обр/дования	Температура в сушильных печах, °С	Шаг обмотки, мм	Линейная скорость, м/мин
Круглые:				
0,31—1,20	СВ-6; 2СОВ-1	300—400	1,52—1,95	3,0±0,5
1,00—1,95	ОГС-1-Э; 2СОВ-2,5М	300—400	2,50—3,30	5,0±0,5
1,00—3,05	ОС-2В-ЭУ; 02-6М-2Э	300—500	3,10—3,50	4,5±0,5
1,20—3,05	СВ; ОС-85	250—450	1,95—2,60	4,0±0,5
1,60—3,80	СОГ-10	350—450	2,60—3,60	5,0±0,5
1,60—3,80		350—500	3,30—5,00	7,4±0,5
Прямоугольные:				
2,0—10,0	ГСМ малые	300—450	3,3—5,0	4,0—6,0
2,0—10,0	2СОВ-2,5М	400—580	2,5—3,5	5,5—7,0
10—25,0	ГСМ	350—450	3,3—5,0	4,5—6,5
20,0—40,0	ОКБ-4099	350—500	3,3—5,0	5,0—7,0

Для некоторых типов обмоточных проводов со стекловолоконистой изоляцией представляется возможным отказаться от подклейки и пропитки лаками, содержащими растворители, и заменить их на синтетические полимерные смолы. Такая замена позволяет ликвидировать загрязнение окружающей среды, оздоравливает условия труда на рабочем месте, в ряде случаев способствует повышению производительности труда. В частности, в качестве подклеивающей и пропитывающей смолы могут использоваться полиамидные смолы.

Принципиальная схема технологического процесса изготовления проводов со стекловолоконистой изоляцией в этом случае заключается в следующем. Предварительно нагретая проволока поступает в ванну с расплавленной смолой, на выходе из которой имеются съемные калибры, позволяющие наносить слой смолы необходимой толщины. Затем производится двухслойная обмотка стекловолокном. При этом первый слой обмотки подклеивается расплавленной смолой к проволоке. Вторым слоем стекловолокна частично подклеивается к первому за счет избытка смолы, выдавливаемой между нитями первого слоя. Далее провод поступает в печь и во

второе смолонаносящее устройство, которое обеспечивает наложение слоя смолы, не только закрепляющего вторую обмотку, но и образующего на поверхности провода гладкую и прочную пленку, значительно повышающую механическую прочность изоляции на истирание. Использование таких проводов для намотки электродвигателей исключает образование в атмосфере цехов стеклянной пыли и повышает надежность обмоток электрических машин.

## *Глава пятая*

# ЭКСТРУДЕРЫ ДЛЯ ПЛАСТМАСС И РЕЗИН

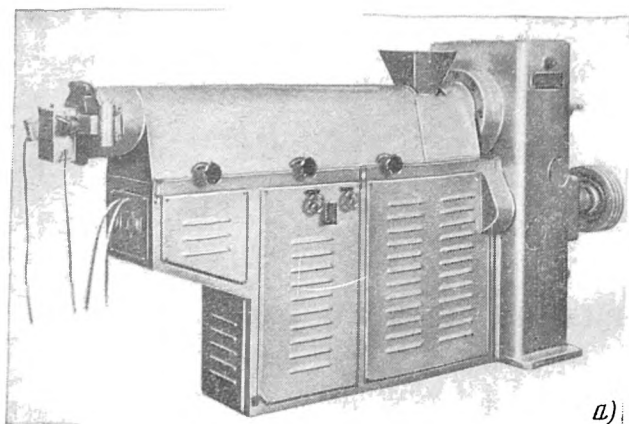
## 5.1 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭКСТРУДЕРА

В процессе производства кабелей и проводов с пластмассовой и резиновой изоляцией широкое распространение получили **экструдеры** (червячные прессы), которые позволяют осуществлять непрерывный процесс наложения **изоляции** или оболочки и выпускать кабельную продукцию практически неограниченной длины. Процесс такого непрерывного производства изоляции или оболочки называют **экструзией** или выдавливанием, а сами прессы — **экструдерами**.

Наиболее широко путем экструзии перерабатываются такие термопластичные высокомолекулярные соединения, как полиэтилен, полипропилен, полиамиды, поливинилхлоридные пластикаты некоторые виды фторопластов, а также различные резиновые смеси.

Одним из основных преимуществ переработки полимеров в экструдерах является непрерывность процесса, а это в свою очередь открывает широкие возможности для совмещения процесса изолирования (или наложения оболочки) с другими операциями при изготовлении кабелей и проводов (например, волочением и отжигом токопроводящей жилы, контролем изолированной жилы, скруткой изолированных жил в группы или кабель и т. п.). Кроме того, непрерывный процесс производства кабелей и проводов открывает широкие возможности для автоматизации производственных процессов, что способствует более эффективному и качественному их осуществлению.

На рис. 5.1 приведены внешний вид и принципиальная схема экструдера. Основной рабочей частью любого экструдера является рабочий цилиндр 5, внутри которого размещается втулка 4, выполненная из специальных



а)

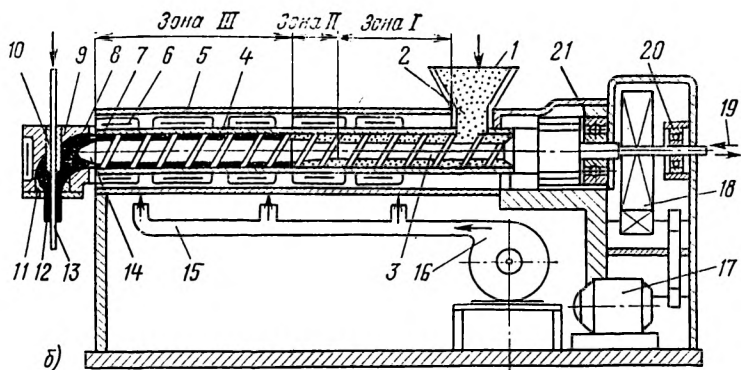


Рис. 5.1. Внешний вид (а) и схема (б) экструдера.

износоустойчивых легированных сталей, стойких к коррозии. Втулка плотно запрессована в цилиндр и имеет обогрев при помощи нагревателей 6, чаще всего электрического, реже индукционного типа. Предусматривается

также внешнее охлаждение цилиндра экструдера воздухом 15 от вентилятора 16 или водой.

Главнейшим рабочим инструментом экструдера является червяк 3, который расположен внутри втулки цилиндра и приводится во вращение от электродвигателя 17 через редуктор 18. Червяк крепится в цилиндре экструдера консольно в подшипниках 20, 21, рассчитанных на значительные осевые нагрузки. Червяк имеет винтовую спиральную нарезку, которая расположена на рабочей части червяка, занимающей значительную длину. В зависимости от типа экструдера и вида перерабатываемого материала рабочая длина червяка в 4—25 раз превышает его диаметр.

Перерабатываемый материал 2 в виде гранул определенной формы периодически загружается или непрерывно подается специальным устройством в загрузочную воронку 1 экструдера. Вращающийся червяк за счет винтовой нарезки захватывает загруженный материал и перемещает его по направлению к зонам II и III экструдера. За счет механических усилий, действующих на материал в винтовом канале нарезки червяка, и за счет теплоты, поступающей от нагревателей цилиндра, гранулы полимера нагреваются и постепенно материал размягчается. Объем витков на входе червяка (зона I или зона загрузки) больше, чем на выходе в зоне III — дозирующей зоне или зоне выдавливания. Отношение этих объемов называется компрессией или степенью сжатия. Количественно компрессия экструдера равна отношению плотности расплава полимера к средней плотности гранул в единице объема в зоне загрузки. Обычно компрессия в червяках для переработки пластмасс осуществляется за счет уменьшения глубины нарезки при неизменном по всей длине ее шаге. Как правило, это уменьшение глубины нарезки происходит в зоне II, которая называется зоной сжатия.

Если в начале зоны загрузки материал находится в виде гранул, то в конце этой зоны и в зоне сжатия наблюдаются уже две фазы состояния полимера — частично размягченные, но еще не расплавленные гранулы и расплав полимера. В зоне дозирования полимер уже расплавлен и полностью заполняет винтовой канал червяка.

За счет винтовой нарезки вращающегося червяка создается мощное усилие, которое выдавливает расплав по-

лимера из цилиндра экструдера в головку 9, где расположен формирующий инструмент (дорн 10 и матрица 11), обеспечивающий наложение заданного слоя 12 изоляции (или оболочки) на токопроводящую жилу 13.

Для повышения качества изоляции, повышения давления в головке, фильтрации расплава полимера между цилиндром и головкой экструдера размещается обычно пакет металлических сеток 7 и решетка 8. Во избежание образования мертвых зон в конце цилиндра, в которых скорость течения расплава равна нулю и, следовательно, происходит застой массы, конец червяка снабжается специальной насадкой 14, имеющей часто дополнительную нарезку.

Следует иметь в виду, что важное значение имеет правильно подобранный температурный режим нагрева зон цилиндра, головки и матрицы. Весьма существенным для эффективной работы экструдера является недопустимость перегрева червяка, особенно загрузочной зоны. Для этого внутри червяка имеется канал для трубы, в которую подается циркулирующая охлаждающая вода 19.

Процессы, происходящие в экструдере, весьма сложны и не всегда поддаются строгому математическому описанию. Как было указано выше, в разных зонах экструдера полимер находится в разных состояниях, поэтому для объяснения причин его перемещения в цилиндре экструдера используются обычно различные физические модели. Рассмотрим сначала закономерности перемещения материала в загрузочной зоне пресса.

### **5.1.1. Перемещение материала в загрузочной зоне экструдера**

В загрузочной зоне экструдера происходит транспортирование сыпучего или пластичного материала, заполняющего винтовую нарезку вращающегося червяка.

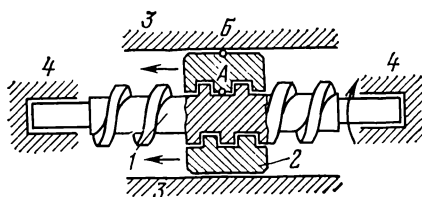
Наиболее понятное объяснение перемещения материала вдоль оси винтового устройства можно получить, если сравнить его с перемещением гайки по вращающемуся винту. Если закрепить (рис. 5.2) винт 1 в неподвижных опорах 4, позволяющих ему вращаться без осевого перемещения, то при его вращении расположенная на нем гайка 2 будет перемещаться вдоль его оси,



в направлении, указанном на рисунке стрелками, но только в том случае, если она удерживается от вращения вместе с винтом с помощью внешних усилий (например, с помощью направляющих 3).

Если убрать направляющие 3, то за счет трения нарезов гайки и винта гайка будет вращаться вместе с вин-

Рис. 5.2. Схема перемещения гайки по вращающемуся винту.



том и никакого осевого перемещения ее не будет. Аналогию между закономерностями перемещения гайки вращающимся винтом и материала вращающимся винтообразным транспортером можно обнаружить, рассмотрев и сравнив рис. 5.2 и 5.3.

Материал 2, заполняющий спиральный канал нарезки червяка 1 (рис. 5.3), аналогичен гайке 2, расположенной на винте 1. Чтобы этот материал перемещался (на рис. 5.3 влево) при вращении червяка 1 (по стрелке), необходимо (по аналогии с рис. 5.2), чтобы червяк проскальзывал относительно этого материала, а стенки цилиндра 3 удерживали этот материал от вращения вместе с червяком.

Коэффициент трения полимера по стали существенно зависит от температуры (см. рис. 5.4). Охлаждая, например, червяк и нагревая стенку цилиндра, можно обеспечить, таким образом, минимальный коэффициент трения между полимером и червяком (точка А, рис. 5.3) и максимальный между полимером и поверхностью цилиндра (точка Б). Конечно, аналогия между случаями, изображенными на рис. 5.2 и 5.3, весьма условна. Тело гайки 2 — это монолитный недеформируемый материал. Поэтому при одном обороте винта гайка продвинется по оси на один шаг. Сыпучий материал, заполняющий спиральный канал червяка, испытывает давление со стороны боковой поверхности спиральной нарезки. При этом, как видно из рис. 5.5, на частицы этого материала действуют усилия, направленные по окружности ( $P'$ ) и вдоль оси

червяка ( $P''$ ). Первые вызывают срезающие деформации, способствующие перемешиванию частичек и в дальнейшем гомогенизации расплава, вторые — обуславливают осевое перемещение материала по длине червяка. Безусловно имеет место и проскальзывание материала

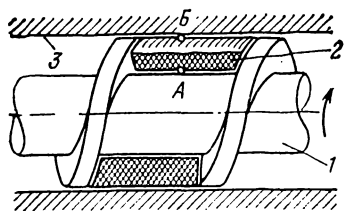


Рис. 5.3. Схема заполнения перерабатываемым материалом спиральной нарезки экструдера.

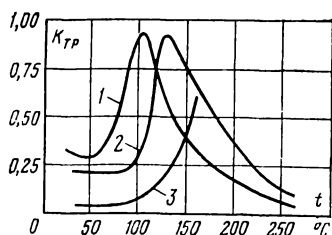


Рис. 5.4. Зависимость коэффициента трения полимеров по стали от температуры.

1 — полиэтилен низкой плотности;  
2 — полиэтилен высокой плотности;  
3 — поливинилхлоридный пластикат.

в грузочной зоне происходит захватывание материала вращающимся червяком, частичное перемешивание его и перемещение по направлению к головке. Одновременно из-за принудительного обогрева и сил внутреннего трения материал постепенно переходит в состояние расплава.

В зоне сжатия происходит уплотнение материала с окончательным заполнением всего объема нарезки расплавленным полимером. Таким образом, в дозирующей или выходной зоне в спиральном канале находится уже вязкая жидкость — расплав полимера, перемещение

относительно стенки цилиндра, также уменьшающее в конечном итоге количество материала, перемещающееся аксиально.

На рис. 5.5 можно определить также, в какую сторону перемещается материал при вращении червяка, обозначенном стрелкой. Так как точки  $C$  и  $D$  в пространстве вращаются по окружностям, лежащим соответственно в плоскостях  $1-1'$  и  $2-2'$ , расположенных перпендикулярно оси червяка, то при повороте червяка по стрелке на некоторый угол эти точки займут новые положения  $C'$  и  $D'$ . Таким образом, винтовая нарезка займет новое положение, изображенное на рисунке пунктирной линией, а следовательно, витки нарезки «перемещаются» справа налево, т. е. в этом направлении перемещается и материал. Подводя итог, можно отметить, что в за-

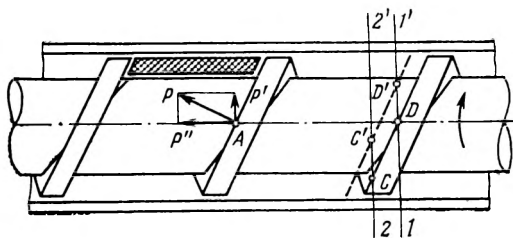


Рис. 5.5. Силы, действующие на полимер в спиральном канале загрузочной зоны.

которой подчиняется другим закономерностям, а именно: вынужденному течению в канале червяка под действием выдавливающего усилия, создаваемого зонами загрузки и сжатия.

### 5.1.2. Реологические свойства расплавов полимеров

Реология или наука о течении изучает, в частности, закономерности протекания вязких жидкостей в каналах различной формы.

Рассмотрим течение вязкой жидкости под действием выдавливающего усилия  $P$  через канал, например прямоугольной формы (рис. 5.6). Особенностью жидкого со-

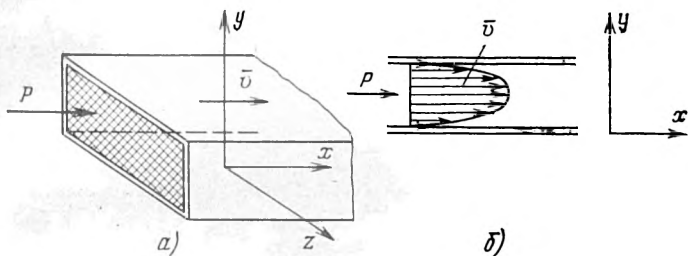


Рис. 5.6. Протекание вязкой жидкости в канале прямоугольной формы.

стояния тел является то, что деформации их носят необратимый характер, т. е. слои жидкости перемещаются относительно друг друга, преодолевая силы межмолекулярного взаимодействия. Вследствие соприкосновения слоев жидкости с неподвижными стенками канала рас-

пределение скоростей перемещения слоев жидкости будет неодинаковым по сечению: скорость слоев, соприкасающихся со стенками, можно считать равной нулю, в центре же канала скорость будет наибольшей. Эпюра распределения скоростей при вынужденном течении жидкости в канале в плоскости  $yx$  представлена на рис. 5.6,б.

Внешняя сила  $P$ , обеспечивающая приведенное распределение скоростей слоев по сечению, равна и противоположна по знаку силе внутреннего трения между слоями жидкости. Изменение скорости перемещения слоев жидкости в направлении, перпендикулярном течению ее, называют градиентом скорости или скоростью сдвига и обозначают, например, для случая, изображенного на рис. 5.6, через  $dv/dy=v$ .

Сила  $P$  связана со скоростью сдвига уравнением Ньютона:

$$P = \mu S \frac{dv}{dy}, \quad (5.1)$$

где  $\mu$  — коэффициент пропорциональности (динамическая вязкость жидкости);  $S$  — поверхность соприкосновения слоев жидкости.

Динамическая вязкость жидкости  $\mu$  численно равна силе внутреннего трения между двумя слоями жидкости с площадью, равной единице, при скорости сдвига, равной единице.

Часто пользуются понятием напряжения сдвига, принимая за эту величину силу, отнесенную к единице площади, т. е.

$$\tau = P/S. \quad (5.2)$$

Тогда уравнение Ньютона может быть записано в следующем виде:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}. \quad (5.3)$$

Следует отметить, что в таком виде уравнение Ньютона справедливо лишь для случая ламинарного течения вязких несжимаемых жидкостей, вязкость которых зависит только от температуры и не зависит от скорости и напряжения сдвига. Такие жидкости называются ньютоновскими. Однако большинство расплавов полимеров, используемых в кабельном производстве, не являются ньютоновскими жидкостями, так как их вязкость

сложным образом зависит от скорости и напряжения сдвига.

При низких скоростях сдвига вязкость полимера высока и его расплав по свойствам близок к ньютоновской жидкости. При высоких скоростях сдвига вязкость полимера невысока и его расплав по свойствам также близок

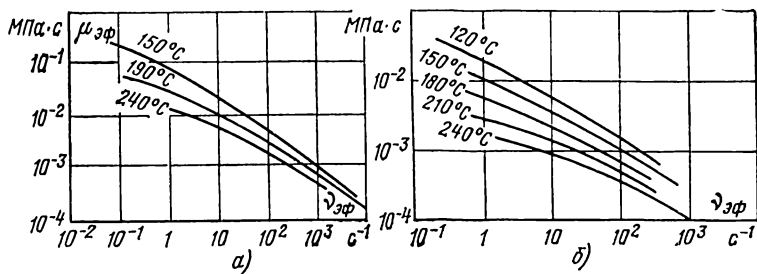


Рис. 5.7. Зависимости вязкости от скорости сдвига при разных температурах для полиэтилена низкой плотности.

а — показатель текучести расплава 0,2 г/10 мин; б — показатель текучести расплава 2,1 г/10 мин.

к ньютоновской жидкости. В широкой области средних значений скорости сдвига расплавы полимеров являются неньютоновскими жидкостями. Так как в расплавах полимеров вязкость зависит от степени ориентации молекул, сдвигающих усилий и времени их действия, то для

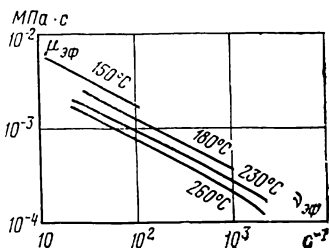


Рис. 5.8. Зависимость вязкости от скорости сдвига при разных температурах для полиэтилена высокой плотности (960 кг/м<sup>3</sup>), показатель текучести расплава 0,9 г/10 мин.

характеристики свойств расплава полимера вводят понятие эффективной вязкости  $\mu_{эф}$  и эффективной скорости сдвига  $\gamma_{эф}$ , которые определяются экспериментально.

На рис. 5.7—5.9 приведены зависимости эффективной вязкости полиэтилена разной плотности и поливинилхлоридного пластиката от эффективной скорости сдвига при разных температурах. Для качественной и количественной оценки реологических особенностей полимеров вве-

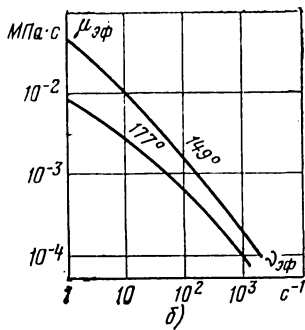
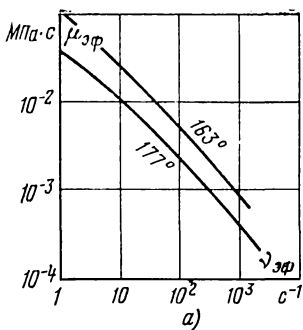


Рис. 5.9. Зависимость вязкости от скорости сдвига при разных температурах поливинилхлоридного пластиката.

а — плотность 1340 кг/м<sup>3</sup>, показатель текучести расплава 0,07 г/10 мин; б — плотность 1370 кг/м<sup>3</sup>, показатель текучести расплава 4,59 г/10 мин.

дем некоторые понятия, которые будут в дальнейшем использованы при анализе работы экструдеров.

Одной из особенностей полимеров является их способность в расплавленном состоянии под действием выдавливающих усилий протекать через очень узкие каналы. На этом их свойстве основаны методы получения тонких полимерных пленок, волокон, получивших широчайшее применение в самых различных отраслях современной промышленности.

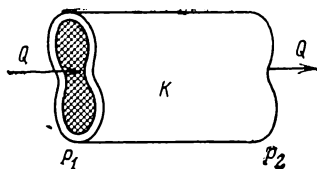


Рис. 5.10. Протекание вязкой жидкости в канале произвольного сечения.

Естественным является тот факт, что при протекании расплава полимера по каналам различной формы он испытывает различное сопротивление истечению.

Если обозначить через  $Q$  объемный расход полимера при протекании (объем материала, прошедшего через поперечное сечение канала в единицу времени), то эта величина может быть определена следующим образом (рис. 5.10):

$$Q = \Delta p / \mu W, \quad (5.4)$$

где  $\Delta p$  — падение давления по пути протекания,  $\Delta p = P_1 - P_2$ ;  $\mu$  — эффективная вязкость расплава;  $W$  — сопротивление протеканию в канале.

Чаще пользуются величиной  $K$ , обратной сопротивлению ( $K = 1/W$ ). Эта величина характеризует пропускную

способность («проводимость») канала. Ее обычно называют константой сопротивления канала. Величина  $K$  зависит от размеров и геометрического профиля отверстия канала. Тогда

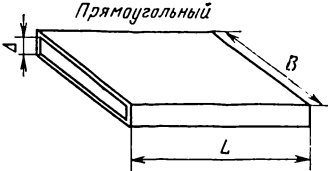
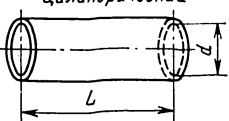
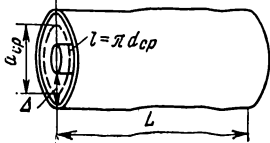
$$Q = K \Delta p / \mu. \quad (5.5)$$

Скорости сдвига расплава, протекающего в каналах разной формы, зависят и от абсолютных скоростей отдельных потоков. Действительно, из рис. 5.6 видно, что чем выше скорости движения центрального слоя расплава, тем сильнее будут отличаться друг от друга скорости разных слоев, т. е. выше будут скорости сдвига в нем. Поэтому скорости сдвига зависят и от расхода  $Q$ , который в свою очередь будет тем больше, чем выше скорости движения потока расплава.

В табл. 5.1 приведены формулы для определения значений  $K$  и скоростей сдвига  $\gamma$  для некоторых видов каналов. Геометрические размеры каналов обозначены на рисунках таблицы. Если размеры подставлять в метрах,

Таблица 5.1

Значения  $K$  и  $\gamma$  для каналов различной формы

Форма канала	$K, \text{ м}^3$	
<p>Прямоугольный</p> 	$\frac{B\Delta^3}{12L}$	$\frac{6Q}{\Delta^2 (B + \Delta)}$
<p>Цилиндрический</p> 	$\frac{\pi d^4}{128 (L + 4d)}$	$\frac{32Q}{\pi d^3}$
<p>Кольцевой</p> 	$\frac{l\Delta^3}{12L}$	$\frac{6Q}{\Delta^2 (l + \Delta)}$

а  $Q$  — в  $\text{м}^3/\text{с}$ , то единицей для  $K$  будет  $\text{м}^3$ , а единицей скорости сдвига будет  $\text{с}^{-1}$ . Эффективная динамическая вязкость расплава имеет единицу  $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = \text{Па}\cdot\text{с}$ .

При переработке полимеров в состоянии расплава возникает возможность разрыва (или излома) расплава. Существует понятие критических скоростей сдвига, при достижении которых поток расплава полимера теряет стабильность, и происходит явление излома или разрыва расплава. Поверхность выпрессованного при таких условиях материала становится неровной, шероховатой. Это явление может наступить при экструзии при больших скоростях через каналы с отверстиями малых размеров. Полимеры повышенной вязкости также более подвержены излому расплава (см. § 5.8).

Текучесть расплавов полимеров количественно характеризуют показателем текучести расплава (ПТР), который часто называют также индексом расплава. Этот показатель характеризуется массой полимера, выдавленной за определенное время при установленной температуре через стандартное цилиндрическое отверстие под действием заданного груза. Чем больше масса выдавленного материала, тем выше ПТР, тем лучшей текучестью обладает данный расплав полимера.

При одинаковом химическом строении полимеры с большей молекулярной массой, большей плотностью имеют, как правило, меньший ПТР. Такие материалы обычно более нагревостойки, имеют высокие механические характеристики и повышенную стойкость к растрескиванию.

### 5.1.3. Течение расплава полимера в дозирующей зоне экструдера

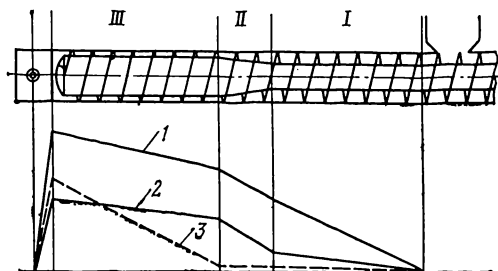
При рассмотрении течения расплава полимера в канале червяка в дозирующей зоне необходимо учитывать наличие так называемого противодавления. Эта величина характеризуется разностью давлений, существующих в начале нарезки червяка, т. е. в начале зоны загрузки, и в конце нарезки червяка, т. е. в конце дозирующей зоны или в головке экструдера. Перерабатываемый материал, перемещаясь внутри цилиндра экструдера по направлению к головке, испытывает сопротивление своему продвижению как за счет трения о стенки спи-



рального канала (поверхности червяка, втулки цилиндра), так и за счет сопротивления истечению расплава, оказываемого различными участками головки (сетка, решетка, кольцевой канал в формирующем инструменте и т. п.). Все это приводит к тому, что давление в расплаве в конце цилиндра и на входе в головку в десятки раз превышает давление в зоне загрузки, которое равно атмосферному (рис. 5.11). Наличие компрессии экстру-

Рис. 5.11. Распределение давления вдоль червяка.

1, 2 — возможные реальные распределения давления; 3 — распределение, принятое для расчета.



дера также способствует увеличению давления. Ввиду того что давление увеличивается по мере продвижения материала в цилиндре к головке и как бы препятствует продвижению материала, оно и называется противодавлением.

Наличие противодействия связано с двумя факторами, влияющими на характер переработки полимера в экструдере. С одной стороны, его роль отрицательна, так как, препятствуя движению материала, оно уменьшает выход материала, т. е. уменьшает объемную производительность экструдера. С другой стороны, наличие противодействия является весьма важным и полезным фактором, так как способствует уплотнению материала, созданию однородного, без воздушных включений, потока расплава в головке, что определяет в конечном итоге высокое качество производимой в экструдере изоляции или оболочки. Поэтому часто принимают специальные меры для увеличения противодействия (или, как говорят, просто давления) в экструдере путем использования дополнительных сеток, специальных решеток и т. п.

Следует иметь в виду, что, несмотря на наличие противодействия, общее движение полимера происходит только по направлению от загрузочной воронки к головке. Это обеспечивается значительным выдавливающим

усилием, развиваемым вращающимся червяком экструдера.

Прежде чем перейти к математическому описанию закономерностей течения расплава в канале червяка в дозирующей зоне, необходимо учесть тот факт, что сам канал перемещается относительно стенки втулки цилиндра за счет вращения червяка. Относительное перемещение червяка, материала в нем и цилиндра не изменится, если мы для удобства условно примем, что червяк неподвижен, а цилиндр вращается вокруг него в сторону, противоположную направлению вращения червяка.

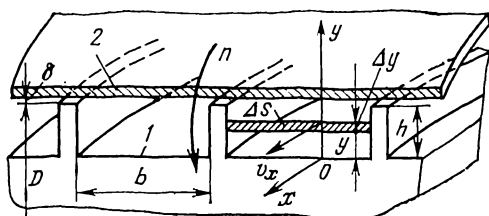


Рис. 5.12. К определению количества материала  $Q$ , поступающего из дозирующей зоны червяка.

В этом случае можно рассмотреть (рис. 5.12) вынужденное течение полимера в прямоугольном канале, дно которого и боковые стенки 1, образованные поверхностью спиральной нарезкой червяка, неподвижны, а верхняя стенка 2, образованная внутренней поверхностью цилиндра (точнее, втулки цилиндра), перемещается с некоторой скоростью  $v_2$ , м/с, зависящей от окружной скорости цилиндра  $v = \pi Dn$ , где  $D$  — диаметр червяка (по нарезке), м,  $n$  — частота вращения цилиндра, об/с.

С учетом наличия противодавления общий поток полимера, перемещающийся по каналу червяка, обычно представляют в виде трех составляющих:

$$Q_{\text{ч}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{обр}} - Q_{\text{ут}}. \quad (5.6)$$

В (5.6)  $Q_{\text{пр}}$  характеризует основную часть потока, называемого прямым, который обусловлен выдавливающим действием червяка и протекает по каналу по направлению скорости  $v_2$  (рис. 5.13). Величиной  $Q_{\text{обр}}$  обозначают обратный поток, который направлен навстречу прямому и обусловлен наличием противодавления в экс-

трудере. Поток утечки  $Q_{ут}$  также обусловлен наличием противодействия и существованием небольшого зазора  $\delta$  между гребнем нарезки червяка и стенкой цилиндра. Этот зазор весьма невелик и необходим для свободного вращения червяка внутри цилиндра.

Следует иметь в виду, что в действительности имеет место единый поток расплава  $Q_{ч}$ , движущийся к головке. Потоки  $Q_{обр}$  и  $Q_{ут}$  лишь уменьшают основной поток  $Q_{пр}$ , и, кроме того, представление общего потока в виде суммы трех его составляющих более удобно для качественного и количественного анализа работы экструдера.

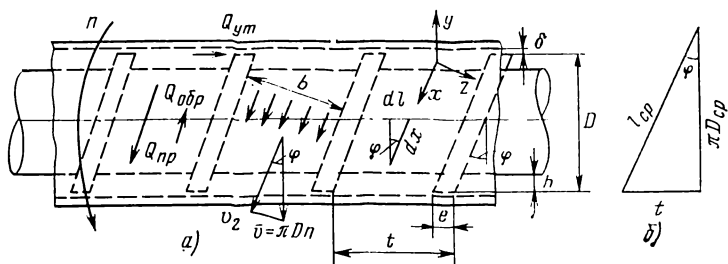


Рис. 5.13. Течение расплава в канале дозирующей зоны червяка. а — скорости направления потоков и геометрические размеры канала; б — развертка витка нарезки червяка.

Математическое описание поведения потока в прямоугольном канале в соответствии со схемой, изображенной на рис. 5.12 и 5.13, и с учетом зависимости вязкости расплава от скорости сдвига и температуры представляет весьма сложную задачу. Поэтому обычно вводят ряд упрощений и допущений, которые позволяют решить поставленную задачу достаточно просто, а введением различных поправок и коэффициентов в дальнейшем учитывают ряд опущенных вначале моментов.

Самой простой задачей является случай поведения вязкой жидкости  $\mathcal{Z}$ , расположенной между двумя пластинами (рис. 5.14), причем одна пластина 1 неподвижна, а вторая пластина 2 перемещается со скоростью  $v_2$ . При этом также предполагают, что вязкость и скорость сдвига постоянны по всему объему между пластинами. Применительно к экструдерам это соответствует случаю, когда ширина канала  $b$  много больше его высоты  $h$  (рис. 5.12), т. е. можно пренебречь тормозящим влиянием боковых стенок канала и считать распределение

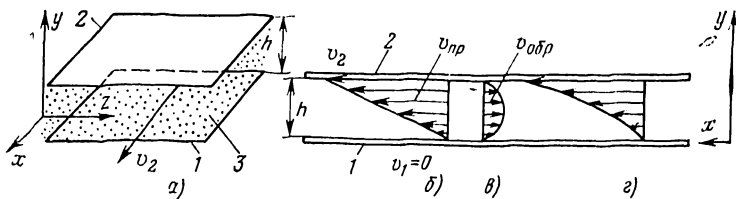


Рис. 5.14. Модель канала червяка и распределение скоростей по высоте канала.

*a* — схема двухпластинчатой модели канала; *б* — распределение скоростей прямого потока  $v_{пр}$ ; *в* — составляющие скоростей обратного потока  $v_{обр}$ ; *г* — результирующая эпюра скоростей в канале.

скоростей неизменным по оси  $z$ . Постоянство вязкости предполагает не только тот факт, что жидкость ньютоновская (не учитывается зависимость от скорости сдвига), но и неизменность температуры по всему объему канала.

Для указанных условий распределение скоростей слоев в направлении оси  $x$  в зависимости от высоты слоя  $y$  выразится следующей формулой:

$$v_x = \frac{v_2 y}{h} - \frac{h y - y^2}{2\mu} M = v_{пр} - v_{обр}. \quad (5.7)$$

Здесь первое слагаемое характеризует скорости прямого потока (см. рис. 5.14, *б*), а второе — обратного (см. рис. 5.14, *в*). Результирующая эпюра скоростей представлена на рис. 5.14, *г*.

Уравнение (5.7) получено в предположении, что  $M = dp/dx = \text{const}$ , т. е. давление в дозирующей зоне изменяется (увеличивается) линейно, и все противодействие приходится на эту зону. Этому случаю соответствует пунктирная кривая 3, изображенная на рис. 5.11. В реальных случаях давление распределяется несколько иначе (кривые 1 и 2), причем кривая 1, например, соответствует случаю повышенного сопротивления головки течения расплава полимера.

## 5.2. РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ

### 5.2.1. Расчет количества полимера, поступающего в головку

Количество расплава  $\Delta Q$ , проходящее в единицу времени через элементарную площадку, равно произведению скорости расплава через эту площадку  $v_x$  на ее пло-

щадь  $\Delta S$  (рис. 5.12), т. е.  $\Delta Q = v_x \Delta S = v_x b \Delta y$ . Так как скорости слоев различны по сечению канала и определяются (5.7), то общее количество материала, подаваемого из дозирующей зоны червяком  $Q_{\text{ч}}$ , определяется следующим интегралом:

$$Q_{\text{ч}} = \int_0^h v_x b dy = \int_0^h \left( \frac{v_2 y}{h} - \frac{hy - y^2}{2\mu} M \right) b dy = \\ = \frac{v_2 bh}{2} - \frac{bh^3}{12\mu} M = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{обр}}. \quad (5.8)$$

Выразим величины  $v_2$ ,  $b$  и  $dx$ , входящие в (5.8), через параметры экструдера — частоту вращения  $n$ , диаметр червяка  $D$  и длину дозирующей зоны  $L_{\text{д}}$ .

В соответствии с рис. 5.12 и 5.13 имеем:

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= v \cos \varphi = \pi D n \cos \varphi; \\ b &= (t - e) \cos \varphi; \quad t = \pi D \operatorname{tg} \varphi \\ dx &= dl / \sin \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

где  $dl$  — расстояние, на которое переместится расплав по оси червяка при прохождении участка  $dx$  по оси канала.

При условии, что  $e \ll t$ , можно записать:

$$b = t \cos \varphi = \pi D \operatorname{tg} \varphi \cos \varphi = \pi D \sin \varphi. \quad (5.10)$$

Подставляя (5.9) и (5.10) в (5.8), получаем:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{\pi D n \cos \varphi \pi D \sin \varphi h}{2} - \frac{\pi D \sin \varphi h^3}{12\mu} \frac{dp \sin \varphi}{dl} = \\ = \frac{\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2} n - \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12\mu} \frac{dp}{dl}. \quad (5.11)$$

Уравнение (5.11) не учитывает поток утечки расплава через канал шириной  $l_{\text{ср}} = \pi D \cos \varphi$  (см. рис. 5.13), длиной  $e \cos \varphi$  и высотой  $\delta$ . Его можно определить из выражения

$$Q_{\text{ут}} = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi}{12\mu e} \frac{dp}{dl} \quad (5.12)$$

С учетом принятого линейного увеличения давления (рис. 5.11) от  $p_1$  (атмосферное) в начале дозирующей зоны до максимального  $p_2$  в конце дозирующей зоны можно записать:

$$\frac{dp}{dl} = (p_2 - p_1) / L_{\text{д}} = \Delta p / L_{\text{д}}, \quad (5.13)$$

где  $\Delta p$  определяет противодавление.

В окончательном виде уравнение для расчета количества расплава, подаваемого червяком из дозирующей зоны в головку, имеет вид:

$$Q_{\text{ч}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{обр}} - Q_{\text{ут}} = \frac{\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2} n - \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12 \mu_{\text{ч}}} \frac{\Delta p}{L_{\text{д}}} - \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi}{12 \mu_{\text{ч}e}} \frac{\Delta p}{L_{\text{д}}} = An - (B + C) \frac{\Delta p}{\mu_{\text{ч}}}, \quad (5.14)$$

где

$$A = \frac{\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2}; \quad B = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12 L_{\text{д}}}; \quad C = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi}{12 e L_{\text{д}}}. \quad (5.15)$$

Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , характеризующие соответственно прямой, обратный потоки и поток утечки, зависят только от геометрических размеров червяка и цилиндра. Так как в выражении (5.14) геометрические размеры выражены в метрах, частота вращения червяка — в оборотах в секунду, эффективная динамическая вязкость в канале червяка ( $\mu_{\text{ч}}$ ) — в паскалях, умноженных на секунду, а давление — в паскалях, то единица  $Q_{\text{ч}}$  определяется кубическими метрами, деленными на секунду.

### 5.2.2. Упрощенный расчет общей объемной производительности экструдера

На общую производительность экструдера, т. е. количество материала, выходящего в единицу времени из головки, влияет конструкция головки и ее деталей (рис. 5.15). От того, какое сопротивление оказывают каналы в головке протеканию расплава полимера, зависит и общая (рабочая) производительность экструдера и рабочее давление в нем.

Для оценки влияния сопротивления головки на работу экструдера полезно рассмотреть два крайних теоретических случая: работу экструдера при отсутствии головки и при полностью закрытом выходе из цилиндра.

Первый случай — выход из цилиндра совершенно свободен. Сопротивление протеканию, оказываемое стенками канала червяка, много меньше, чем сопротивление, оказываемое элементами головки.

Таким образом, из (5.14) имеем:  $\Delta p = 0$ ,  $Q_{\text{обр}} = Q_{\text{ут}} = 0$ ,

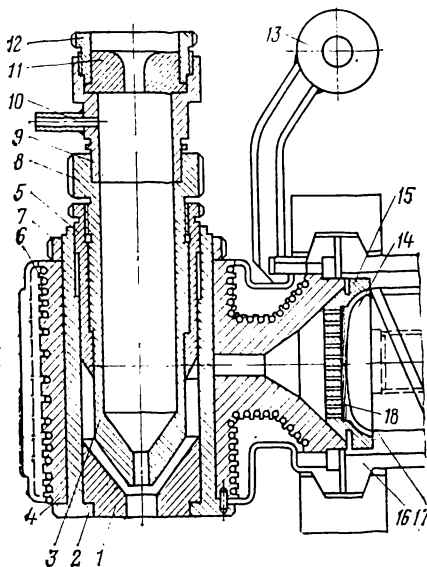
$$Q_{\text{ч}} = Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ч max}} = An. \quad (5.16)$$

В этом случае производительность экструдера максимальна, хотя качество выходящего из цилиндра неуплотненного материала неудовлетворительное.

Второй теоретический случай соответствует полному закрытию выхода из цилиндра (например, при помощи заглушки). Очевидно, что  $Q_{\text{ч}}=0$ , и прямой поток будет равен сумме обратного и утечки, т. е.  $Q_{\text{пр}}=Q_{\text{обр}}+Q_{\text{ут}}$ .

Рис. 5.15. Головка экструдера для наложения полиэтиленовой изоляции или оболочки.

1 — матрица; 2 — матрицедержатель; 3 — дорн; 4 — корпус; 5 — дорнодержатель; 6 — нагреватель; 7 — гайка; 8 — гайка специальная; 9 — насадка; 10 — патрубок (к вакуум-насосу); 11 — вкладыш; 12 — гайка; 13 — кронштейн; 14 — насадка к червяку; 15 — решетка; 16 — цилиндр; 17 — червяк; 18 — сетки.



Тогда из (5.14) можно найти давление в конце цилиндра, которое будет являться максимально возможным при заданных значениях  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $n$  и  $\mu$ :

$$An = (B + C) \Delta p_{\text{max}} / \mu \quad \text{и} \quad \Delta p_{\text{max}} = \frac{An\mu}{B + C}. \quad (5.17)$$

Давление  $\Delta p_{\text{max}}$  необходимо знать для расчета крепежных устройств, соединяющих головку с цилиндром экструдера.

Реальному случаю работы экструдера с конкретной конструкцией головки для наложения изоляции или оболочки будут соответствовать рабочая производительность  $Q_p$  и рабочее давление (или противодавление)  $\Delta p_p$ , значения которых соответственно меньше, чем  $Q_{\text{чmax}}$  и  $\Delta p_{\text{max}}$ , определяемые по формулам (5.16) и (5.17).

Для нахождения  $Q_p$  и  $\Delta p_p$  необходимо совместно решить уравнения, определяющие количества расплава, проходящего через дозирующую зону  $Q_ч$  и каналы головки  $Q_г$ .

Расход  $Q_ч$  можно определить из (5.14),  $Q_г$  — из (5.5):

$$Q_г = K_г \Delta p_г / \mu_г, \quad (5.18)$$

где  $\Delta p_г$  — перепад давления в головке;  $K_г$  — константа (или пропускная способность) головки;  $\mu_г$  — вязкость расплава при температуре головки.

В головке обычно рассматривают три последовательно расположенных участка, оказывающих наибольшее сопротивление протеканию расплава полимера: решетки, фильтрующие сетки, расположенные на входе

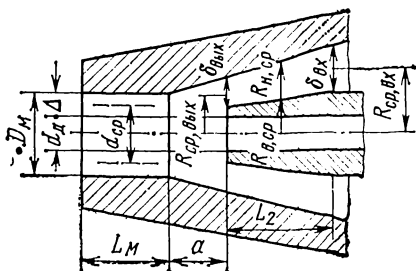


Рис. 5.16. Схема расположения формирующего инструмента в головке экструдера.

в головку; конусный кольцевой переход между дорном и матрицей; цилиндрический кольцевой зазор между матрицей и токопроводящей жилой (в случае наложения изоляции).

Пропускная способность  $K_1$  решетки с числом отверстий  $m$ , диаметром отверстий  $d$  и толщиной  $L_1$

$$K_1 = m \pi d^4 / 128 L_1. \quad (5.19)$$

Пропускная способность  $K_2$  конического перехода с геометрическими размерами, указанными на рис. 5.16, равна:

$$K_2 = \frac{\pi}{8 L_2} \left[ R_{н, сп}^4 - R_{в, сп}^4 - \frac{(R_{н, сп}^2 - R_{в, сп}^2)^2}{\ln(R_{н, сп} / R_{в, сп})} \right]. \quad (5.20)$$

Константа  $K_3$  калибрующей части матрицы (рис. 5.16)

$$K_3 = \frac{\pi d_{сп} \Delta^3}{12 L_M}. \quad (5.21)$$

Результирующая константа головки  $K_г$

$$K_г = \frac{1}{1/K_1 + 1/K_2 + 1/K_3}. \quad (5.22)$$



Если геометрические размеры в формулах (5.19)—(5.22) подставлять в метрах, то единицей для констант  $K$  будет  $\text{м}^3$ .

Из рис. 5.11 видно, что  $\Delta p$  в уравнении (5.14) равно  $\Delta p_r$  в (5.18). Однако следует иметь в виду, что это в точности выполняется лишь при максимальном давлении  $p_2$ , приходящемся на конец дозирующей (III) зоны.

Очевидно, что и расходы  $Q_{\text{ч}}$  из (5.14) и  $Q_r$  из (5.18) также равны, так как все количество материала, поступающее в головку из цилиндра, проходит через нее и накладывается на заготовку. Таким образом, решая совместно (5.14) и (5.18) относительно  $Q$ , т. е. выражая, например, из (5.18)  $\Delta p_r$  и подставляя в (5.14), получаем:

$$Q_p = \frac{An}{1 + \frac{B+C}{K_r} \frac{\mu_r}{\mu_{\text{ч}}}} \quad (5.23)$$

Решая (5.14) и (5.18) относительно  $\Delta p_r$ , получаем:

$$\Delta p_r = \frac{An}{\frac{K_r}{\mu_r} + \frac{B+C}{\mu_{\text{ч}}}} \quad (5.24)$$

Уравнения (5.23) и (5.24) определяют рабочую производительность и рабочее давление в экструдере.

Значения  $Q_p$  и  $\Delta p_r$  можно найти также путем совместного графического решения системы уравнений (5.14) и (5.18). Если построить зависимости  $Q_{\text{ч}}$  от  $\Delta p_r$  по (5.14) и  $Q_r$  от  $\Delta p_r$  по (5.18), то им будут соответствовать прямые 1 и 2, изображенные на рис. 5.17. Прямую 1 называют характеристикой червяка, прямую 2 — характеристикой головки. Пересечение характеристик червяка и головки (точка А) определяет  $Q_p$  и  $\Delta p_r$ . Меняя значение величин, входящих в уравнения (5.14) и (5.18), можно менять наклон прямых 1 и 2 и регулировать таким образом  $Q_p$  и  $\Delta p_r$ . Так, характе-

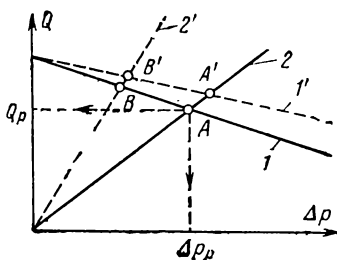


Рис. 5.17. Характеристики червяка (1) и головки (2).

ристики червяка  $I'$ , изображенная на рис. 5.17 пунктирной линией, соответствует большему значению вязкости  $\mu_{\text{ч}}$  (а следовательно, и меньшей температуре расплава в дозирующей зоне). При этом рабочая точка пересечения смещается в точку  $A'$ , что соответствует большим значениям  $Q_p$  и  $\Delta p_p$  при той же характеристике головки.

В свою очередь увеличение, например, константы головки  $K_r$  без изменения остальных параметров экструдера увеличивает наклон характеристики головки (пунктирная линия  $2'$ ) и смещает рабочую точку в положение  $B$ , соответствующее большему расходу  $Q_p$ , но меньшему значению  $\Delta p_p$ , и т. д.

В ряде технологических случаев производства кабелей и проводов выгоднее повысить производительность экструдера, в других — получить более пологие характеристики червяка и головки, которые обеспечивают хотя и меньшую производительность, но зато большую стабильность выхода массы и давления в головке. Последнее обстоятельство обуславливает более стабильные размеры выпрессовываемого слоя изоляции, что имеет решающее значение для кабелей связи и особенно радиочастотных кабелей (см. § 6.7).

Напомним, что уравнения (5.23) и (5.24) получены с учетом следующих допущений: расплав считается ньютоновской жидкостью, давление линейно возрастает от начала к концу дозирующей зоны, не учитывается тормозящее влияние стенок нарезки, температура (а следовательно, и вязкость  $\mu_{\text{ч}}$ ) постоянна ко всему сечению канала червяка, принято, что ширина гребня нарезки червяка много меньше ширины канала ( $e \ll b$ ). Таким образом, (5.23) и (5.24) являются упрощенными уравнениями выдавливания (экструзии) в экструдерах.

В ряде конкретных случаев указанные выше допущения не могут считаться справедливыми, поэтому существуют уточненные методы расчета параметров экструзии.

### 5.3. УТОЧНЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭКСТРУЗИИ

Ввиду того что не всегда целесообразно добиваться учета всех сделанных ранее допущений, приведем последовательно ряд формул для расчета  $Q_p$  и  $\Delta p_p$  с указанием тех условий, в предположении соблюдения которых они получены.

Когда нельзя пренебречь размером  $e$  по сравнению с  $t$  (см. рис. 5.13),  $A$  и  $B$  определяются из следующих выражений:

$$A = \pi^2 D^2 h \left(1 - \frac{e}{t}\right) \sin \varphi \cos \varphi; \quad B = \frac{\pi D h^3 \left(1 - \frac{e}{t}\right) \sin^2 \varphi}{12 L_d}. \quad (5.25)$$

Определим влияние изменения вязкости расплава по высоте нарезки червяка. В реальных условиях работы температура расплава по высоте канала неодинакова. Это связано с тем, что цилиндр экструдера нагревается, а тело червяка часто имеет охлаждение. Поэтому даже для случая ньютоновской жидкости вязкость расплава будет различная у поверхности 1 червяка и поверхности 2 втулки цилиндра (см. рис. 5.12).

Предположив линейное изменение вязкости по оси  $y$  от  $\mu_{\text{ч}}$ , определяемой при температуре поверхности червяка, до  $\mu_{\text{ц}}$ , определяемой температурой стенки цилиндра в дозирующей зоне, можно получить следующие уравнения для расчета  $Q_p$  и  $\Delta p_p$ :

$$Q_p = \frac{F_1 A n}{1 + \frac{\mu_{\text{г}}}{\mu_{\text{ср}}} \frac{F'_1 (B+C)}{K_{\text{г}}}}; \quad (5.26)$$

$$\Delta p_p = \frac{F_1 A n}{\frac{K_{\text{г}}}{\mu_{\text{г}}} + \frac{F'_1 (B+C)}{\mu_{\text{ср}}}}. \quad (5.27)$$

В этих выражениях  $F_1$  и  $F'_1$  характеризуют влияние изменения вязкости по высоте канала червяка соответственно на прямой и обратный потоки. Коэффициенты  $F_1$  и  $F'_1$  можно определить по кривым, приведенным на рис. 5.18, в зависимости от величины  $\gamma = \mu_{\text{ц}}/\mu_{\text{ч}}$ . В этом случае средняя вязкость в канале червяка определяется величиной

$$\mu_{\text{ср}} = (\mu_{\text{ц}} + \mu_{\text{ч}}) / 2. \quad (5.28)$$

Для учета влияния скорости сдвига на вязкость расплава, т. е. того факта, что расплав полимера является не ньютоновской жидкостью, необходимо знать значения скоростей в канале червяка и головки.

Распределение скоростей и значения скоростей сдвига в канале червяка можно определить в соответствии с рис. 5.14. С некоторым приближением можно считать, что распределение скоростей определяется преимущественно прямым потоком (см. рис. 5.14,б), т. е.

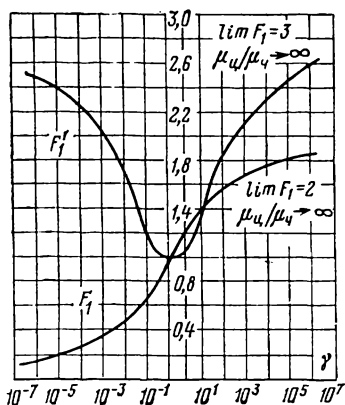


Рис. 5.18. Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние изменения вязкости по высоте канала червяка на прямой ( $F_1$ ) и обратный ( $F'_1$ ) потоки.

имется линейное изменение скоростей по высоте нарезки (от нуля до  $v_2$ ), а поэтому скорость сдвига

$$v_ч = \frac{v_2 - v_1}{h} = \frac{v_2}{h} = \frac{\pi D n \cos \varphi}{h} \quad (5.29)$$

(здесь  $D$ ,  $h$  — в м;  $n$  — в об/с;  $v$  — в с<sup>-1</sup>).

То, что скорости обратного потока и потока утечки не учитываются, практически не влияет на  $v_ч$ , потому что потоки  $Q_{обр}$  и  $Q_{ут}$  значительно меньше, чем  $Q_{пр}$ .

Определение скоростей сдвига в каналах головки значительно сложнее. Действительно, для этих расчетов в соответствии, например, с табл. 5.1 нужно знать расход  $Q$  потока, проходящего через эти каналы. Предположим, что через каналы головки проходит поток  $Q_p$ , рассчитанный в первом приближении без учета зависимости вязкости от скорости сдвига, например по формуле (5.23) или (5.26). Зная  $Q_p$ , можно уточнить перепад давления в головке  $\Delta p_r$  с учетом свойств неньютоновской жидкости.

Выше отмечалось, что головка состоит из ряда полостей разной формы, соединенных последовательно. Поэтому общий перепад давления  $\Delta p_r$  в головке (т. е. разность давлений на входе в головку и на выходе из матрицы) можно с учетом (5.5) выразить в виде

$$\Delta p_r = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = Q_p \left( \frac{\mu_1}{K_1} + \frac{\mu_2}{K_2} + \frac{\mu_3}{K_3} \right), \quad (5.30)$$

где  $Q_p$  — общий поток, который вследствие непрерывности течения одинаков для всех участков головки. Значения  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  определяются по формулам (5.19)—(5.21) и из табл. 5.1.

Значения скоростей сдвига в решетке 18 (полость 1), конечном переходе между дорном 3 и матрицей 1 (полость 2) и в формирующей полости 3 на длине цилиндрической части матрицы (см. рис. 5.15) определяются следующими формулами:

В полости 1:

$$v_1 = \frac{32Q_p}{m\pi d_1^3}, \quad (5.31)$$

где  $m$  — количество отверстий в решетке,  $d_1$  — диаметр отверстия.

В полости 2:

$$v_2 = \frac{24Q_p}{\pi (R_{ср, вх} + R_{ср, вых}) (\delta_{вх} + \delta_{вых})^2}, \quad (5.32)$$

где  $R_{ср, вх}$ ,  $R_{ср, вых}$  — радиусы средней окружности на входе и выходе конусной кольцевой щели;  $\delta_{вх}$ ,  $\delta_{вых}$  — радиальные толщины кольцевой щели на входе и выходе конусного перехода.

В полости 3 (определяемой длиной цилиндрической части матрицы  $L_m$ , см. рис. 5.16):

$$v_3 = \frac{6Q_p}{\Delta^2 (\pi d_{ср} + \Delta)}, \quad (5.33)$$

где  $d_{ср}$  — средний диаметр кольцевого отверстия между жилой и матрицей;  $\Delta$  — высота кольцевого отверстия (определяет толщину изоляции или оболочки).

По рассчитанным значениям  $v_1-v_3$  при известных температурах в головке и матрице можно определить значения  $\mu_1-\mu_3$  для расплава полимера (например, по графическим зависимостям, приведенным на рис. 5.7—5.9). Если для данного расплава не имеется технических данных, то можно воспользоваться зависимостью для полимера с аналогичным химическим составом и показателем текучести (например, по [1]).

Определив значения  $\mu_1-\mu_3$  и  $K_1-K_3$ , рассчитывают уточненное значение рабочей объемной производительности

$$Q_p = \frac{F_1 A n}{1 + \frac{F'_1 (B + C)}{\mu_{\text{ср}}} \left( \frac{\mu_1}{K_1} + \frac{\mu_2}{K_2} + \frac{\mu_3}{K_3} \right)} \quad (5.34)$$

Если полученное значение  $Q_p$  по (5.34) будет отличаться от предварительно вычисленного значения  $Q_p$  по формуле (5.23) или (5.26), то следует провести уточнение расчета.

Для этого полученное по (5.34) значение  $Q_p$  используется для уточнения скоростей сдвига в участках головки, т. е. подставляется в формулы (5.31)—(5.33) для получения новых уточненных значений  $v_1-v_3$  и далее  $\mu_1-\mu_3$ . Затем вновь вычисляется по (5.34) расход  $Q_p$  и сравнивается с полученным на предыдущем этапе. Так же следует продолжать расчеты до тех пор, пока расхождение в рассчитанных значениях  $Q_p$  на двух последующих этапах не составит заданной по условиям точности расчета величины.

Тормозящее влияние боковых стенок канала червяка (см. рис. 5.12) определяют введением коэффициентов  $F_2$  и  $F'_2$ , учитывающих соответственно влияние изменения скорости по оси  $Z$  на прямой и обратный потоки:

$$Q_p = \frac{F_1 F_2 A n}{1 + \frac{F'_1 F'_2 (B + C)}{\mu_{\text{ср}}} \left( \frac{\mu_1}{K_1} + \frac{\mu_2}{K_2} + \frac{\mu_3}{K_3} \right)} \quad (5.35)$$

Коэффициенты  $F_2$  и  $F'_2$  зависят от отношения высоты  $h$  к ширине  $b$  канала червяка и определяются из графика, приведенного на рис. 5.19.

При больших скоростях движения жилы она уносит с собой определенное количество расплава. Поправка  $\Delta Q$ , на которую следует увеличить расчетную рабочую производительность экструдера  $Q_p$  за счет движения жилы со скоростью  $v$  через головку,

$$\Delta Q = \frac{\pi v d_{\text{ж}}^2}{4} \left[ \frac{(D_{\text{м}}/d_{\text{ж}})^2 - 1}{21n (D_{\text{м}}/d_{\text{ж}})} - 1 \right], \quad (5.36)$$

где  $d_{\text{ж}}$ ,  $D_{\text{м}}$  — диаметры жилы и цилиндрической части матрицы.

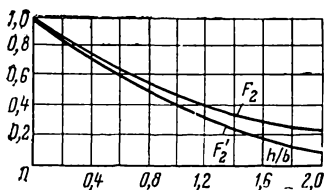


Рис. 5.19. К определению коэффициентов  $F_2$  и  $F'_2$ .

## 5.4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Экструдеры для наложения резиновой изоляции или оболочки при внешнем сходстве с экструдерами для переработки термопластичных пластмасс имеют ряд существенных особенностей. Эти особенности отличают как конструкцию элементов экструдера и режимы работы, так и методы расчета их производительности.

Материалом для переработки в этих экструдерах являются невулканизированные резины, представляющие собой сложные многокомпонентные смеси различных видов каучука с другими ингредиентами.

Каучуки относятся к так называемым эластомерам, т. е. таким веществам, у которых преобладают высокоэластические деформации, характеризующиеся определенными временами релаксации, т. е. восстановления прежнего состояния тела (например, размеров) после снятия деформирующих усилий. Высокоэластические деформации определяют и соответствующее состояние вещества. Это состояние присуще только высокомолекулярным соединениям (полимерам) и является промежуточным между стеклообразным фазовым состоянием полимера и вязкотекучим состоянием. Соответственно первое характеризуется упругими деформациями, а второе — пластическими (необратимыми) деформациями. Пребывание полимера в том или ином агрегатном состоянии зависит от ряда факторов, главными из которых являются его химическое строение и температура.

Как упоминалось выше, для переработки в экструдерах полимер должен быть переведен в вязкотекучее состояние. В обычных условиях каучуки находятся в высокоэластическом состоянии. Для их переработки и придания конечному продукту (резиновой смеси) ряда заданных свойств, каучуки смешивают с такими компонентами, как мягчители (пластификаторы), наполнители и др. Введение пластификаторов вызывает увеличение пластичности смеси, т. е. приближает ее к вязкотекучему состоянию. Этому способствует также пластикация каучуков (см. § 15.4), при которой за счет действия механических (срезающих) деформаций и повышенной температуры происходят процессы, приводящие к деструкции (разрыву) длинных молекул полимеров, сопровождающейся увеличением пластичности материала.

Следует иметь в виду, что температура в цилиндре и головке экструдера для переработки резиновых смесей существенно ниже, чем в экструдерах для переработки пластмасс. Во избежание возможности вулканизации этих смесей (см. § 6.9) внутри экструдера температур для различных типов каучуков не превышает 50—90°C.

Температура резиновой смеси, поступающей в загрузочное отверстие экструдера, для различной рецептуры колеблется в пределах от 20 до 40—70°C (в зависимости от отсутствия или наличия предварительного подогрева).

Важно отметить, что для переработки резиновых смесей применяются более короткие червяки. Если их длина колеблется обычно в пределах  $(4-12)D$ , то червяки для переработки пластмасс имеют длину  $(15-30)D$ , причем оптимальной считается длина около  $24D$ .

Таким образом, можно сказать, что резиновая смесь, характеризующаяся по сравнению с пластмассами меньшей пластичностью и большими эластическими деформациями, перерабатывается при сравнительно низких температурах и с помощью относительно коротких червяков экструдеров. Все это позволяет считать, что для объяснения механизма перемещения резиновой смеси в цилиндре экструдера подходят положения, изложенные при рассмотрении процессов, происходящих в загрузочной зоне экструдера для переработки пластмасс. Напомним, что в основе указанных методов лежит с определенным приближением так называемая механическая «модель винта и гайки» (см. рис. 5.2).

С учетом изложенного производительность экструдера при переработке резиновых смесей определяется количеством смеси, заполняющей объем нарезки червяка на длине одного шага, количеством нарезок червяка, частотой вращения червяка и плотностью смеси.

Если нарезка однозаходная, то за один оборот червяка при условии полного заполнения всей нарезки смесью в головку поступит объем смеси  $V$ , равный объему витка нарезки на длине  $l_{cp}$  одного шага  $t$ . В соответствии с рис. 5.12 и 5.13 имеем:

$$\begin{aligned}
 V &= bh l_{cp} = bh \pi D_{cp} / \cos \varphi = bh \pi (D + h) / \cos \varphi = \\
 &= \frac{(t - e) \cos \varphi h \pi (D + h)}{\cos \varphi} = \pi (D + h) h (t - e). \quad (5.37)
 \end{aligned}$$

При частоте вращения червяка  $n$ , об/с, и геометрических размерах, измеряемых в метрах, объем материала

$\bar{Q}_1$ , м<sup>3</sup>/с, подаваемый в головку в секунду при числе заходов червяка  $i$ , равен:

$$Q_1 = \pi(D+h)h(t-e)in. \quad (5.38)$$

Если плотность смеси равна  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>, то производительность, кг/с,

$$Q = \pi(D+h)h(t-e)i\gamma n. \quad (5.39)$$

Последнее выражение определяет максимально возможную производительность червяка экструдера. В действительности реальная производительность экструдера будет существенно меньше. Это обусловлено такими факторами, как наличие противодействия, неполное заполнение нарезки червяка смесью, и, наконец, тем фактом, что имеют место окружные и осевые смещения отдельных участков в смеси, заполняющей объем нарезки червяка, вызванные силами  $P'$  и  $P''$  (см. рис. 5.5). Поэтому нельзя считать, что за один оборот червяка выдавливается полностью объем витка на длине одного шага, как это было бы в идеальном случае процесса, описываемого моделью, перемещающейся по винту гайки. Указанные факторы, снижающие производительность экструдера, можно учесть некоторым коэффициентом  $\alpha$ , фактически имеющим смысл КПД экструдера

$$Q = \alpha\pi(D+h)h(t-e)i\gamma n. \quad (5.40)$$

Значение  $\alpha$  может колебаться довольно значительно для разных случаев и лежать в пределах 0,1—0,3.

## 5.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСТРУДЕРОВ

Экструдеры для переработки пластмасс и резиновых смесей имеют общую принципиальную конструкцию, изображенную на рис. 5.1. Однако в зависимости от вида перерабатываемого материала, особенностей кабелей и проводов, которые изготавливаются в экструдере, и других факторов конструктивное выполнение отдельных его элементов может быть различным.

В зависимости от взаимного положения центральных осей червяка и токопроводящей жилы или заготовки под оболочку, проходящих через головку, различают экструдеры прямоочные, с косоугольной и прямоугольной головками (рис. 5.20). В кабельной промышленности наиболее широко применяются прямо-



угольные головки (рис. 5.20,а), которые весьма удобны в эксплуатации, легко выполняются откидными, что облегчает смену формующего инструмента, фильтрующих сеток и решеток, чистку червяка и головки.

Имеет применение также косоугольная головка (рис. 5.20,б). Ее ось расположена под углом 40—60° к оси червяка, что выравнивает путь расплава полимера, поступающего из цилиндра экструдера в зону формующего инструмента. В этом ее некоторое преимущество

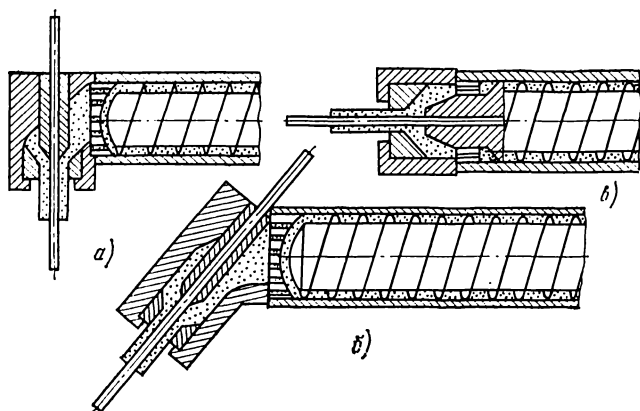


Рис. 5.20. Упрощенные схемы экструдеров с прямоугольной (а), косоугольной (б) и прямоточной (в) головками.

перед прямоугольной головкой, в которой поток испытывает поворот на 90°, что затрудняет центровку изоляции на жиле. Однако, для того чтобы выполнить косоугольную головку откидной, приходится увеличивать ее объем, в том числе и объем каналов прохождения расплава. Это связано с возможностью образования так называемых «мертвых» зон в головке, в которых скорость полимера близка к нулю, что, в свою очередь, приводит к перегреву и разложению полимера и получению недоброкачественной изоляции.

Прямоточные экструдеры (рис. 5.20,в) обеспечивают наиболее благоприятное течение расплава полимера из цилиндра к формующему инструменту. В этом случае не наблюдается поворота слоев полимера на большие углы, и это обеспечивает равномерное по толщине наложение изоляции. Однако при этом дорн располагается на вра-

щающемся червяке, что существенно затрудняет заправку жилы и чистку головки. По этой причине прямоочные головки в кабельной промышленности не применяются, а используются в тех экструдерах, где нет необходимости во внутреннем отверстии дорна для прохождения жилы. Например, при экструзии полимерных пленок, нитей и т. п.

Экструдеры обычно выполняются с цилиндром, в котором расположен один червяк. Однако существуют конструкции экструдеров, у которых в цилиндре расположе-

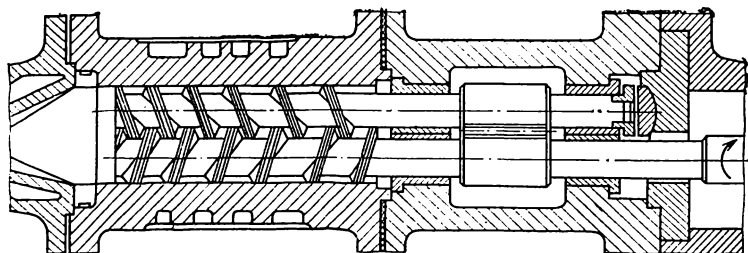


Рис. 5.21. Схема цилиндра экструдера с двумя червяками.

ны два червяка, оси которых параллельны, а выступы нарезки одного червяка входят во впадины нарезки другого (рис. 5.21). Такая конструкция способствует лучшей пластикации и переработке материала.

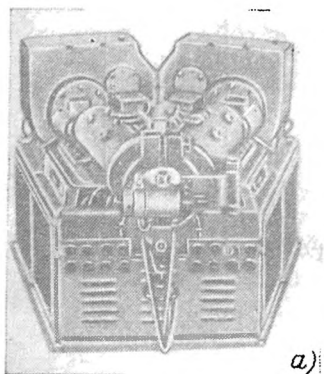
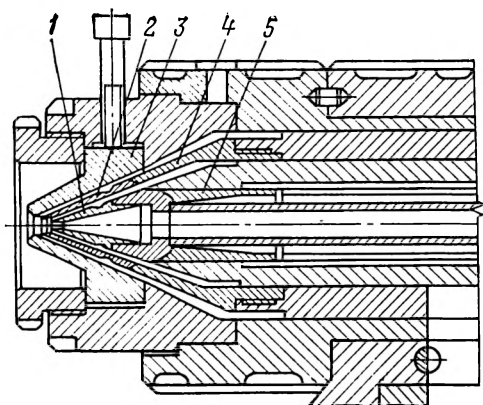
Для одновременного наложения двух или трех слоев на кабельную заготовку используются сдвоенные или строенные экструдеры. В этих агрегатах обычно различные материалы (для изоляции, экрана, оболочки) последовательно накладываются в одной общей головке (рис. 5.22). До поступления в общую головку материал каждого слоя перерабатывается в отдельном экструдере, совместная работа которых синхронизирована.

При двухслойном наложении материала применяются так называемые V- или T-образные агрегаты. Оси червяков первых расположены под углом 30—40° друг к другу, вторых — направлены навстречу (рис. 5.23).

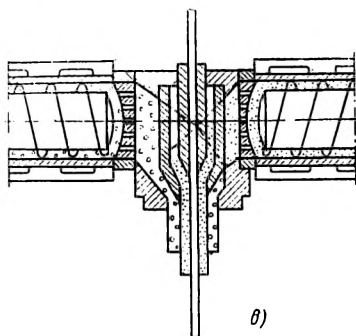
Экструдеры для двух- и трехслойного наложения изоляции, экранов и оболочек применяются обычно для производства силовых и высоковольтных кабелей с пластмассовой или резиновой изоляцией. Для производства

Рис. 5.22. Головка  
сдвоенного экструдера  
для раздельного  
двухслойного паложения  
изоляции и экрана  
или оболочки.

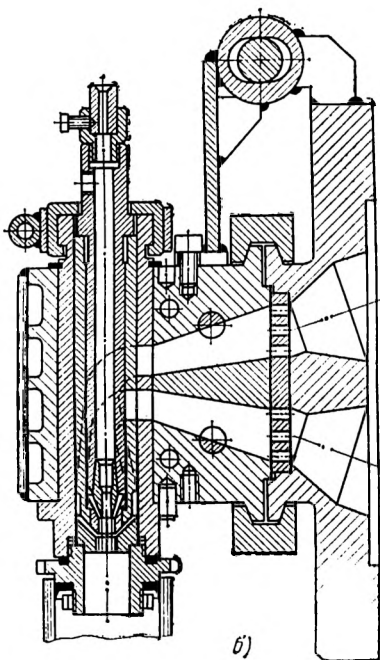
1 — дорн; 2 — дорн-матрица; 3 — матрица; 4 — конус переходный; 5 — регулятор concentричности.



а)



б)



б)

Рис. 5.23. Сдвоенные V-образный и T-образный экструдеры.  
а — внешний вид V-образного экструдера; б — головки V-образного экструдера; в — схема T-образного экструдера.

большинства кабелей и проводов с пластмассовой или резиновой изоляцией применяются одночервячные экструдеры с прямоугольной головкой.

Различаются эти экструдеры диаметром червяка, который является их основным техническим параметром.

Таблица 5.2

**Параметры экструзионных агрегатов при наложении полиэтиленовой изоляции, оболочки или защитного шланга**

Параметр	МЕ-1-45 (ГДР)	НГ-601 (ВНР), МЕ-1-60 (ГДР)	МЕ-1-90 (ГДР)	МЕ-1-120 (ГДР)	МЕ-1-160 (ГДР)
Диаметр червяка, мм	45	60	90	120	160
Диаметр по изоляции, мм	0,4—3,0	0,8—4,0	1,0—10,0	5,0—30,0	20,0—60,0
Диаметр по оболочке, мм	—	До 4,0	До 10,0	До 30,0	До 60,0
Частота вращения червяка, об/мин	14—142	15—150	6—120	10—100	10—90
Максимальная линейная скорость, м/мин	390	700	600	200	70
Производительность, кг/ч	45	90	200	300	500

В настоящее время принят унифицированный ряд диаметров червяков: 20, 32, 45, 63, 90, 125, 160, 200 мм (табл. 5.2). Остальные параметры червяка определяются в зависимости от его диаметра и от вида перерабатываемого полимера. Ниже при рассмотрении особенностей и технологических режимов производства различных кабелей и проводов приведены основные технические характеристики экструдеров.

### **5.6. ЭКСТРУЗИОННЫЕ АГРЕГАТЫ И ПОТОЧНЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Экструдер является основным рабочим узлом агрегата для наложения изоляции или оболочки (табл. 5.3). Кроме экструдера в состав агрегата входит ряд узлов, обеспечивающих указанный технологический процесс. Во-первых, как и в любом оборудовании для производ-

ства кабелей и проводов, обязательно наличие отдающего, тягового и приемного устройства, обеспечивающих прохождение кабельной заготовки достаточной длины через головку экструдера. Кроме того, имеется ряд устройств, необходимых для качественного осуществления технологического процесса (регулировка натяжения,

Таблица 5.3

**Основные параметры экструдеров при наложении полиэтиленовой изоляции, полиэтиленовых и поливинилхлоридных оболочек или защитных шлангов**

Наименование параметра	Показатель
Отношение длины червяка к диаметру Зазор между гребнем червяка и внутренней поверхностью цилиндра не более Количество (не менее) и номера (не более) фильтрующих сеток	От 15 до 25 0,0025 диаметра червяка* 2 сетки № 018 или 028 по ГОСТ 6613-73, ГОСТ 3384-73
Охлаждение червяка экструдера  Охлаждение цилиндра экструдера (при наложении оболочек или защитных шлангов) Количество зон обогрева экструдера	Водяное или масляное** Водяное или воздушное Не менее трех зон обогрева цилиндра, одной зоны обогрева головки и одной матрицы
Диапазон изменения частоты вращения червяка не менее Диапазон изменения линейных скоростей наложения изоляции или оболочки из полиэтилена не менее Диапазон изменения линейных скоростей наложения поливинилхлоридной оболочки не менее	1:8  1:15  1:20
Допустимые колебания установленной температуры зон обогрева	+5°C

\* В процессе работы допускается увеличение зазора до 0,004 диаметра червяка.  
 \*\* Допускается отсутствие охлаждения червяка.

подогрев заготовки, охлаждение изоляции и др.) и контроля его параметров (измерение диаметра, температуры и т. п.).

На рис. 5.24 приведена схема агрегата для наложения пластмассовой изоляции. Токпроводящая жила 2 с отдающего устройства 1 поступает в компенсатор 3, который обеспечивает ее постоянное натяжение. Это осуществляется за счет перемещения

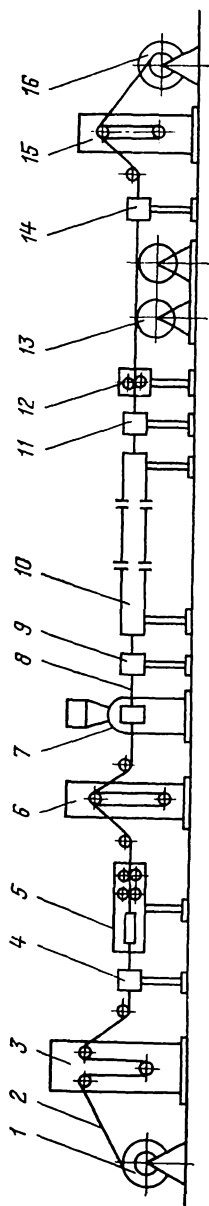


Рис. 5.24. Схема экструзионной линии.

вверх или вниз подвижных роликов. При ослаблении натяжения ролик опускается вниз, при увеличении — поднимается вверх. Это перемещение обычно используют для передачи движения на тормозное устройство отдающего барабана. После компенсатора и протирочного устройства 4 располагают прямильное устройство 5, которое применяется для однопроволочных жил и представляет собой систему роликов, расположенных в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Перед входом в головку экструдера токопроводящая жила подогревается для обеспечения лучшей адгезии изоляции к жиле и во избежание охлаждения расплава в головке. При наложении полиэтиленовой и поливинилхлоридной изоляции жила подогревается до 100—150°C. Это осуществляется обычно путем пропускания электрического тока по участкам жилы, находящимся между двумя контактными роликами 6. После выхода из головки экструдера 7 изолированная жила 8 поступает в охлаждающее устройство 10, которое обычно выполняется в виде ванны, наполненной циркулирующей водой. Длина ванны и температура воды в ней зависят от размеров изоляционной жилы, скорости ее перемещения и материала изоляции.

После ванны размещается устройство 11 для удаления влаги с поверхности изоляции путем обдува ее струей воздуха под давлением около 0,2 МПа. Для контроля и регулирования размеров накладываемой изоляции в агрегате применяются измерители диаметра, которые могут быть контактного или бесконтактного типа. Контактный измеритель диаметра 12 размещают после охлаждающего устройства. Он представляет собой пару роликов, между которыми проходит изолированная жила. В случае отклонения ее диаметра от номинального размера один из роликов — подвижный — перемещается. Это перемещение фиксируется на индикаторе, а также может использоваться для автоматического регулирования диаметра. В этом случае механическое перемещение ролика преобразуется в электрический сигнал, который используется для увеличения или уменьшения (в зависимости от направления перемещения ролика-датчика) ча-

стоты вращения тягового механизма 13. При высоких линейных скоростях изолирования и размерах охлаждающей ванны за счет инерционности системы автоматического регулирования большие участки готовой продукции могут выходить за пределы нормы. Поэтому желательно размещать измерители диаметра непосредственно у выхода из головки экструдера. Так как материал изоляции в этом месте находится в состоянии расплава, то применение контактных датчиков исключено. Поэтому здесь используются бесконтактные измерители диаметра 9, которые могут быть, например, фотоэлектрического типа.

Тяговый механизм 13 может быть колесного или гусеничного типа. Последний применяется при значительных усилиях протяжки при наложении изоляции значительной толщины или на жилы больших сечений, а также в случае использования пластичного материала для изоляции или оболочки. После тягового устройства может располагаться измеритель длины 14 и компенсатор 15, который обеспечивает равномерное натяжение изолированной жилы путем регулирования скорости ее, изменяющейся по мере увеличения диаметра по намотке приемного барабана. Приемное устройство 16, в котором размещается приемный барабан, может выполняться различной конструкции, причем обычно в виде сдвоенного приемника, позволяющего без остановки агрегата осуществлять прием изготовленного изделия.

Приведенная схема является типовой для экструзионного агрегата. Для различных конкретных технологических процессов могут отсутствовать или видоизменяться те или иные узлы или вводиться дополнительные. Так, в случае наложения пластмассовой оболочки на заготовку отсутствует прямильное устройство, подогревное устройство применяется другого типа — обогреваемая труба, внутри которой проходит заготовка. Тяговой механизм используется в этом случае, как правило, гусеничного типа, причем гусеничная тяга может дополнительно устанавливаться и после отдающего устройства.

Наложение изоляции или оболочки на кабели и провода в экструдерах дает возможность широкого совмещения отдельных технологических операций при их производстве. Это обусловлено тем, что процесс экструзии осуществляется непрерывно, часто на больших скоростях и обеспечивает принципиальную возможность производства кабелей и проводов большими длинами.

При совмещении отдельных технологических процессов в одну последовательную цепочку достигается значительная экономия рабочего времени, повышается производительность труда как за счет исключения ряда промежуточных операций (перемотка, установка и выгрузка приемно-отдающей тары, междуоперационная

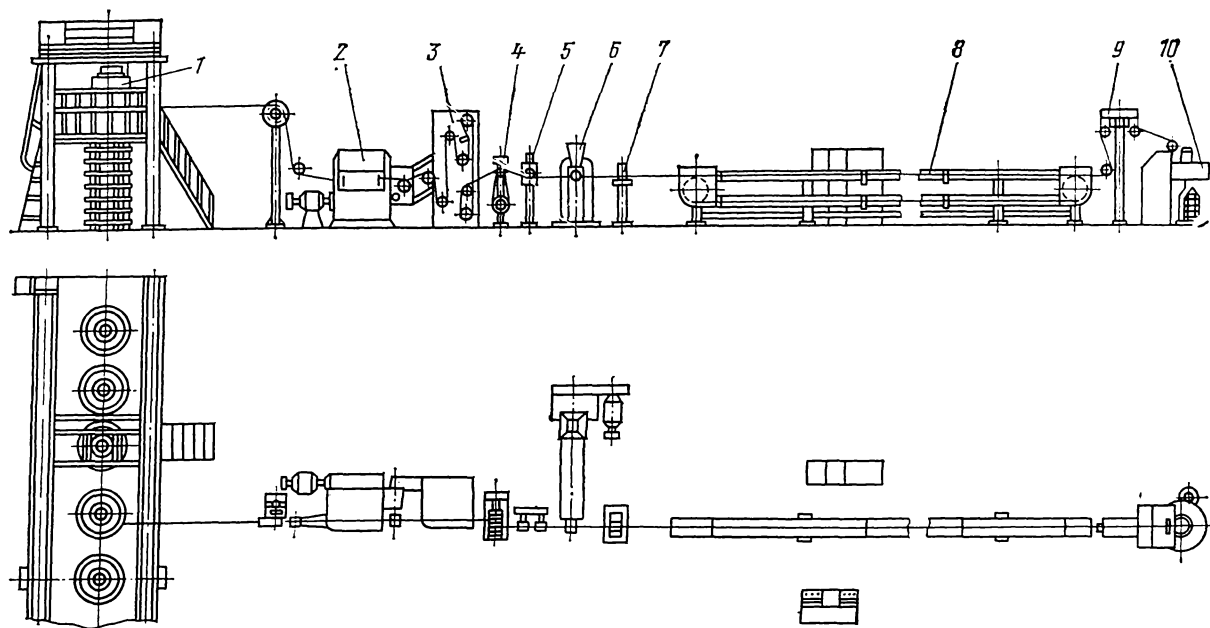


Рис. 5.25. Схема поточной линии по производству изолированных полиэтиленом жил городских телефонных кабелей.

1 — рабочая площадка с передвижным приемником и стационарными контейнерами; 2 — волоочильная машина МР-9; 3 — установка непрерывного отжига; 4 — компенсатор; 5 — измеритель температуры; 6 — экструдер; 7 — фотоэлектрический измеритель диаметра; 8 — ванна охлаждения; 9 — высокочастотный аппарат сухого испытания; 10 — приемник на конусы.



транспортировка заготовок и т. д.), так и за счет экономии производственных площадей и рабочей силы. Кроме того, улучшаются возможности более широкой и комплексной автоматизации производственных процессов и контроля продукции.

В настоящее время в кабельной промышленности используются поточные полуавтоматические и автоматические линии для производства различной кабельной продукции.

*Автоматические поточные линии для производства изолированных жил городских телефонных кабелей с полиэтиленовой изоляцией* совмещают (рис. 5.25): среднее волочение медной проволоки до диаметра 0,32; 0,4 или 0,5 мм, отжиг нагартованной в процессе волочения медной проволоки, наложение сплошной полиэтиленовой изоляции, охлаждение изолированной жилы, контроль геометрических размеров, электрических параметров (емкость, электрическая прочность), прием изолированной жилы в контейнеры. При этом фиксируется длина жилы в каждом контейнере и общая выработка за смену.

На таких линиях достигается высокая линейная скорость прохождения жилы через узлы линии: для медных жил диаметром 0,4 мм скорость достигает 1500—1800 м/мин и даже до 2500 м/мин, для жил диаметром 0,32 мм—1200—1500 м/мин. Меньшие скорости изолирования жил диаметром 0,32 мм связаны с технологическими трудностями при производстве такого диаметра жил (возможность неравномерной вытяжки, высокие требования к точному соблюдению тяговых усилий и т. п.). В перспективе все жилы с полиэтиленовой изоляцией планируется выпускать на таких поточных линиях.

*На полуавтоматической поточной линии для производства силовых проводов с поливинилхлоридной изоляцией* осуществляются следующие технологические операции: изолирование токопроводящей жилы, охлаждение, контроль параметров и непрерывный прием в бухты. В технологический процесс не входит операция волочения проволоки, что связано с тем, что на данных линиях выпускаются силовые провода различного сечения токопроводящей жилы (в пределах 1—10 мм<sup>2</sup>), а если волочильная машина встраивается в поточную линию, то она

обычно рассчитывается на производство токопроводящей жилы одного заданного сечения.

Отличительной особенностью данных линий является то обстоятельство, что прием готовой продукции — изолированной жилы осуществляется в бухты, причем по мере формирования бухты она автоматически сбрасывается с бухтовочного приемника. На этих полуавтоматических линиях скорость прохождения жилы достигает 150—250 м/мин. Технические возможности позволяют повысить скорость до 400—600 м/мин, однако при этом необходимо дополнительно автоматизировать процесс обвязки готовых бухт, который на существующих линиях производится вручную.

На данных линиях используются экструдеры с червяком диаметром 160 мм, производительность которых может достигать 500—600 кг/ч. Однако такой производительности можно достигнуть при вращении червяка со скоростью более 40 об/мин, что при использовании поливинилхлоридного пластика для изоляции приводит к перегреву на 30—40°C в зонах цилиндра и ухудшению качества изоляции за счет вспенивания пластификатора. Поэтому повышение линейных скоростей на этих поточных линиях связано также с разработкой новых конструкций червяков и цилиндров экструдеров, в частности обеспечивающих отсос выделяющихся газов из зон цилиндра.

*На автоматических поточных линиях для производства изолированных жил контрольных кабелей* накладывается полиэтиленовая изоляция радиальной толщиной 0,6 мм на медные или алюминиевые жилы сечением 2,5—10 мм<sup>2</sup>. Совмещаются следующие технологические процессы: грубое волочение, полуотжиг жил, наложение изоляции в экструдере, охлаждение изолированной жилы, контроль параметров, непрерывный прием изолированной жилы на барабан с автоматической сменой его по мере заполнения. Особенностью этой линии является, в частности, применение неполного отжига (полуотжига) алюминиевой проволоки, что необходимо для увеличения механической прочности токопроводящих жил.

В процессе производства осуществляется его полный контроль путем измерения диаметра изолированной жилы, электрической прочности изоляции и отсчет длины жилы, намотанной на приемный барабан. Последнее измерение особенно существенно для контрольных кабе-

лей, так как они состоят из большого количества скрученных изолированных жил (от 3 до 37). Поэтому во избежание отходов длины скручиваемых жил должны быть известны и одинаковы.

*Схема автоматической поточной линии для производства силовых кабелей с полиэтиленовой изоляцией* аналогична схеме линии для производства жил контрольных кабелей. Однако имеется дополнительная операция после волочения — подогрев токопроводящей жилы для обеспечения более качественного наложения изоляции в экструдере. На этой линии производится наложение полиэтиленовой изоляции толщиной 0,7 мм на медные жилы сечением 2,5—10 мм<sup>2</sup>. Кабели изготавливаются на напряжение до 1 кВ.

На основе этой линии разрабатывается автоматизированный участок по производству силовых кабелей. При этом прием изолированной жилы осуществляется в контейнеры, что повышает линейные скорости изолирования до 150—300 м/мин. На первом этапе проектируется использование линейной скорости до 70 м/мин, так как она лимитируется последующими операциями, которые осуществляются на автоматизированном участке: скруткой изолированных жил и наложением пластмассовой оболочки.

Таким образом, после приема изолированной жилы в контейнеры последние по мере заполнения поступают на конвейер, а затем осуществляются операции скрутки и наложения поливинилхлоридной оболочки. Отличительной особенностью этого процесса является применение разнонаправленной скрутки изолированных жил (см. гл. 9), которая предусматривает скрутку на определенном участке (несколько шагов) в одну сторону, а затем перемену направления и скрутку в другую сторону и т. д. Применение такой скрутки дает возможность использовать отдающие и приемные устройства, не участвующие во вращательном движении вокруг оси скручиваемого кабеля. Это, в свою очередь, обеспечивает непрерывность всей технологической цепочки автоматизированного участка.

Внедрение такой автоматической технологии требует решения ряда технических и организационных вопросов.

К таким техническим вопросам относятся: разработка технологических режимов непрерывного отжига движущихся одно- и многопроволочных медных и алюминие-

вых, круглых и секторных токопроводящих жил, обработка процесса разнонаправленной скрутки эти жил, применение цветной раскраски отдельных жил силовых кабелей и поверхностной расцветки поливинилхлоридных оболочек и непрерывных бронирования и контроля параметров кабелей.

Для цветной раскраски жил силовых кабелей применяется устройство, позволяющее получать на поверхности полиэтиленовой изоляции продольную цветную полосу в процессе изолирования жилы. Это осуществляется за счет использования

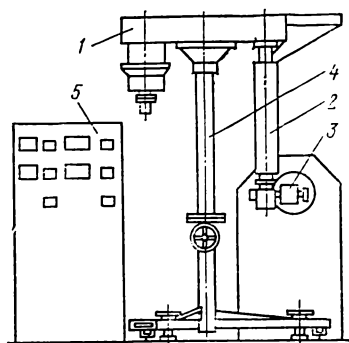


Рис. 5.26. Вертикальный экструдер для нанесения расцветки на изолированные жилы.

1 — привод; 2 — экструдер; 3 — головка; 4 — вертикальная стойка с механическим перемещением; 5 — приборный шкаф.

специально разработанной сдвоенной головки, в которой происходит наложение основного слоя изоляции на жилу в экструзе с червяком диаметром 160 мм, а также нанесение цветной полоски из полиэтилена другого цвета, подаваемого в эту же головку вторым экструдером. Считается наиболее удобным сочетание горизонтального основного пресса и вертикального (рис. 5.26) экструдера диаметром 40 мм для нанесения расцветки. Путем

подбора частоты вращения червяка и давления в вертикальном экструдере можно регулировать ширину нанесенной цветной полосы и глубину ее погружения в изоляцию жилы.

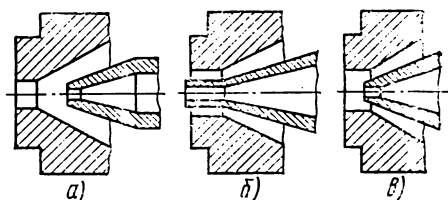
Внедрение автоматизированных участков по производству кабелей с пластмассовой изоляцией требует существенного повышения качества обслуживания оборудования техническим персоналом, а также применения чистых материалов, точно соответствующих техническим требованиям. На таких участках особенно важно сведение к минимуму процента брака на любой операции, так как здесь осуществляется производство не одного какого-то элемента кабеля (например, токопроводящей жилы или изолированной жилы), а изготовление готового кабеля.

## 5.7. ФОРМУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРУЗИИ

На производительность экструзионного агрегата и качество выпускаемой кабельной продукции существенное влияние оказывает формующий инструмент (дорн, матрица), в котором происходит непосредственное формирование расплава полимера в цилиндрический слой изоляции или оболочки, а также такие технологические параметры, характеризующие процесс экструзии, как геометрические размеры червяка и цилиндра экструдера, частота

Рис. 5.27. Схемы взаимного расположения дорна и матрицы.

*a* — плотное наложение изоляции (с обжатием); *б* — свободное наложение изоляции (трубкой); *в* — наложение изоляции с малым обжатием.



вращения червяка, температурный режим в цилиндре и головке, скорость прохождения заготовки через головку экструдера.

Основные геометрические размеры формующего инструмента при наложении полиэтиленовой изоляции приведены ниже (см. рис. 5.29):  $\alpha = 30 \div 50^\circ$ ;  $\beta = \alpha + (0 \div 10^\circ)$ ;  $\gamma = 4 \div 5^\circ$ ;  $L_1 = 5 \div 8$  мм;  $L_2 = (10 \div 13) D$ ;  $D_M = (1 \div 1,1) d_{из}$ , где  $d_{из}$  — диаметр по изоляции, мм.

В зависимости от взаимного расположения дорна и матрицы (рис. 5.27) меняется плотность наложения изоляции на токопроводящую жилу или, как обычно говорят, степень обжатия, а также производительность экструдера. Наиболее часто используется расположение формующего инструмента, соответствующее схеме, представленной на рис. 5.27, *a*. При этом наблюдается наиболее плотное наложение изоляции. При расположении, соответствующем рис. 5.27, *б*, наоборот, происходит свободное выпрессование слоя изоляции, который накладывается на жилу без обжатия в виде трубки. Расположение в соответствии со схемой, показанной на рис. 5.27, *в*, является промежуточным случаем — наложением изоляции с малым обжатием.

Высокая степень обжатия применяется обычно при изготовлении изоляции кабелей и проводов высокого на-

пряжения, для которых недопустимо наличие воздушных включений у поверхности жилы. В случае наложения изоляции кабелей и проводов, работающих при низком напряжении, когда наличие воздушных включений не опасно, формирующий инструмент может располагаться по схеме, обеспечивающей малое обжатие (рис. 5.27,в). Свободное наложение слоя полимера обычно применяется при наложении пластмассовых оболочек, а также при наложении изоляции с так называемой вытяжкой или с использованием вакуумирования дорна.

Наложение изоляции с вытяжкой происходит в том случае, когда токопроводящая жила движется через головку экструдера быстрее, чем выпрессовывается слой полимера. При этом происходит вытягивание полимера движущейся жилой и уменьшение радиальной толщины изоляции. Это ведет к увеличению линейной скорости, а также требует большего радиального зазора между дорном и цилиндрической частью матрицы. Выпрессование изоляции трубкой применяется в том случае, когда требуется наложить изоляцию на жилу, например секторную. В этом случае во внутренней отверствии дорна создается разрежение (так называемое «вакуумирование дорна») за счет подключения вакуумного насоса через специальное приспособление 10 в дорнодержателе (см. рис. 5.15). За счет разрежения слой изоляции плотно облегает жилу.

При наложении изоляции трубкой по сравнению с плотным наложением характер течения полимера при прочих равных условиях более приближен к ламинарному, так как в этом случае стенки канала, по которому течет поток, имеют меньше углов, около которых возможны завихрения.

При увеличении расстояния  $a$  между дорном и цилиндрической частью матрицы (рис. 5.28) не только увеличивается степень обжатия, но и несколько увеличивается производительность. Это объясняется тем, что при этом увеличивается конусный кольцевой зазор между дорном и матрицей и соответственно увеличивается пропускная способность головки  $K$ . Свободное, без обжатия, наложение слоя полимера на жилу по схеме рис. 5.27,б объясняется тем, что на выходе из головки давление падает до атмосферного, а именно в этом месте и происходит наложение изоляции. Высокая степень обжатия при расположении инструмента по схеме рис. 5.27,а объясняется.

тем, что в месте соприкосновения полимера с жилой; т. е. на выходе из дорна, давление значительно повышается. Напомним (см. § 5.3), что общее падение в головке распределяется в основном по трем зонам головки, причем наименьшее значение имеет почти всегда величина  $K_3$ , что соответствует наибольшему перепаду давления в зоне цилиндрической части матрицы, где окончательно и формируется слой изоляции.

Слишком большое расстояние между дорном и матрицей может привести к обрыву токопроводящей жилы, а также способствует ухудшению центровки жилы в цилиндрической части матрицы. Обычно величина  $a$  при плотном наложении изоляции принимается не менее удвоенной радиальной толщины накладываемого слоя изоляции.

Угол между образующими конусных поверхностей дорна и матрицы  $(\alpha - \beta) / 2$  влияет на производительность, так как определяет пропускную способность этой полости  $K_2$ . С увеличением этого угла производительность увеличивается. Однако с точки зрения лучшего прогрева слоя полимера за счет нагретых поверхностей дорна и матрицы этот угол целесообразно делать небольшим ( $0 - 10^\circ$ ).

Диаметр цилиндрической части матрицы  $D_M$  определяет наружный диаметр  $D_{из}$  выпрессовываемого слоя полимера. Поэтому, если только прессование не ведется с вытяжкой  $D_M \approx D_{из}$ . Однако следует учитывать тот факт, что ряд материалов после выхода из головки экструдера и последующего охлаждения меняет свои размеры. Так, полиэтиленовая изоляция в процессе охлаждения имеет усадку, т. е. уменьшается  $D_{из}$ . Поэтому диаметр матрицы берется несколько больше, чем  $D_{из}$ . Это увеличение достигает до 10% и зависит как от  $D_{из}$ , так и от толщины слоя изоляции.

Невулканизованная резиновая изоляция после выхода из головки экструдера несколько увеличивает свои размеры, что связано с наличием высокоэластических деформаций в этом материале. Поэтому диаметр матрицы

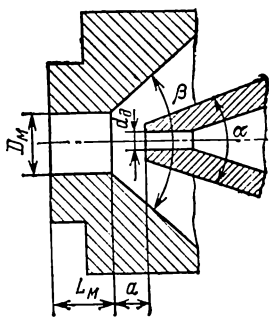


Рис. 5.28. Схема расположения дорна и матрицы.

$D_m$  в этом случае выбирают меньшим, чем требуемый диаметр изоляции  $D_{из}$ .

При выпрессовании изоляции из поливинилхлоридного пластика диаметр матрицы принимают равным диаметру по изоляции.

Длина цилиндрической части матрицы  $L_m$  оказывает весьма существенное влияние как на производительность экструдера, так и на качество накладываемого слоя изоляции. На этом участке происходит формирование слоя изоляции, поэтому увеличение его длины способствует более стабильному течению потока расплава в этой зоне и, следовательно, более качественной изоляции. Но с увеличением  $L_m$  пропорционально увеличивается сопротивление данного участка, т. е. уменьшается пропускная способность  $K_3$ , которая оказывает наиболее существенное влияние на общую пропускную способность головки, т. е. в конечном итоге на производительность экструдера. На практике  $L_m$  принимают обычно не более диаметра матрицы  $D_m$ , а при наложении полиэтиленовой или поливинилхлоридной изоляции в пределах 1—8 мм.

В ряде случаев применяют так называемые двухконусные матрицы (рис. 5.29, в). Они имеют значительно большую длину по сравнению с обычными. Угол  $\gamma$  выходного конуса обычно небольшой (несколько градусов), второй конус имеет значительно больший угол  $\beta$ . Применение таких матриц обеспечивает уплотнение изоляции и большую ее стабильность. Такие матрицы применяют в ряде случаев при наложении изоляции большой радиальной толщины за один проход, а также при наложении изоляции из полимеров с большой вязкостью расплава (например, для некоторых плавких фторопластов) и при наложении тонкослойной изоляции. В последнем случае за счет увеличенной длины матрицы увеличивается сопротивление головки, что соответствует повышению стабильности процесса изолирования за счет более пологой характеристики головки на диаграмме  $Q-\Delta p$  (см. рис. 5.17).

Диаметр внутреннего выходного отверстия дорна  $d_d$  приблизительно равен диаметру токопроводящей жилы. Он выбирается большим на 0,05—0,50 мм для обеспечения свободного прохождения жилы. Для однопроволочных жил это увеличение меньше, для многопроволочных жил — несколько больше. При заметном увеличении зазора между жилой и внутренней поверхностью выходного



отверстия дорна жила может оборваться из-за проникновения в этот зазор находящегося под избыточным давлением полимера.

На производительность экструдеров и качество изготавливаемых с их помощью кабелей и проводов, кроме параметров формующего инструмента, существенное влияние оказывают такие технологические параметры процесса экструзии, как форма и размеры червяка, температурный режим в зонах цилиндра и головки, температурный режим охлаждения и др.

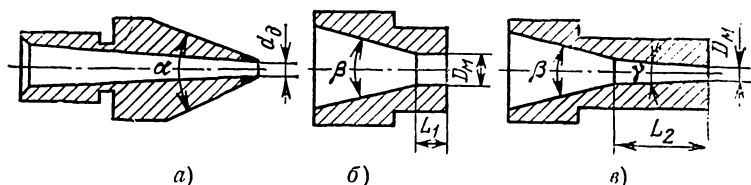


Рис. 5.29. Формующий инструмент для наложения полиэтиленовой изоляции.

а — дорн; б — матрица; в — двухконусная матрица.

Размеры и формы червяка зависят от типа экструдера и от вида перерабатываемого материала. Обычно основным параметром червяка является его диаметр по нарезке  $D$  (рис. 5.30). Остальные размеры чаще всего выражаются относительно величины  $D$ . Для таких термопластичных полимеров, как полиэтилен, поливинилхлоридные пластикаты, обычно применяют червяки большой длины с относительно небольшой глубиной  $h$  нарезки. Длина  $L$  этих червяков (рис. 5.30) составляет от 15 до  $25D$ , причем в последнее время предпочтение отдается более длинным червякам.

Глубина нарезки  $h_d$  в дозирующей зоне для пластмасс обычно выбирается в пределах  $(0,05—0,15)D$ , а степень сжатия (компрессия), определяемая отношением глубин нарезки в зоне загрузки  $h_z$  и зоне дозирования  $h_d$ , в зависимости от перерабатываемого материала лежит в пределах 2—4,5. Чем меньше  $h$ , тем материал более равномерно прогревается, а следовательно, наблюдаются большие стабильность вязкости в канале червяка и однородность изоляции.

Как показывает сравнительный анализ характеристик червяка и головки в координатах  $Q—\Delta p$  (см. рис. 5.17), уменьшение глубины нарезки червяка в дозирующей зо-

не приводит к уменьшению производительности экструдера  $Q$  только при больших значениях  $K_r$ , т. е. при более крутой характеристике головки. Это обычно соответствует случаю наложения изоляции с достаточно большой радиальной толщиной. Однако при наложении тонких слоев полимера за счет малого значения  $K_z$  [см. формулу (5.21)] при уменьшении  $h_d$  общая производительность экструдера будет увеличиваться.

Кроме того, производительность экструдеров с длинным червяком и неглубокой нарезкой в дозирующей зоне значительно меньше зависит от температуры расплава, чем у экструдеров с коротким червяком и глубокой нарезкой. Отмеченный факт связан соответственно и с дли-

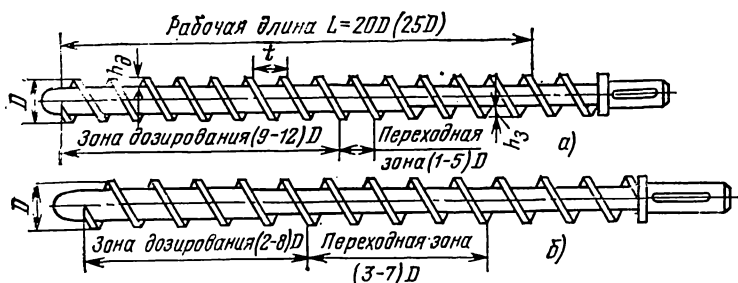


Рис. 5.30. Червяки разных конструкций.

а — для полиэтилена; б — для поливинилхлоридного пластиката.

ной дозирующей зоны  $L_d$  червяка. Чем больше  $L_d$ , тем более стабильна работа экструдера, так как это связано с большим выравниванием температуры, а значит, и вязкости расплава в дозирующей зоне червяка. Кроме того, при увеличении  $L_d$  уменьшаются потоки  $Q_{обр}$  и  $Q_{ут}$  [см. (5.14)], а это приводит к более пологой характеристике червяка, что также способствует большей стабильности  $Q$ . Поэтому обычно длина дозирующей зоны берется не меньше  $(4-6)D$ , а в ряде случаев еще больше (до  $12D$ ). Длина переходной зоны или зоны сжатия обычно бывает небольшой. Чаще она составляет  $(0,5-1)D$ .

Шаг нарезки  $t$  для большинства червяков, используемых для переработки пластмасс, постоянен по всей длине червяка и обычно равен диаметру червяка по нарезке.

Угол нарезки  $\phi$  червяка определяется по известным значениям шага нарезки и диаметра червяка

из соотношения

$$\operatorname{tg} \varphi = t / \pi D.$$

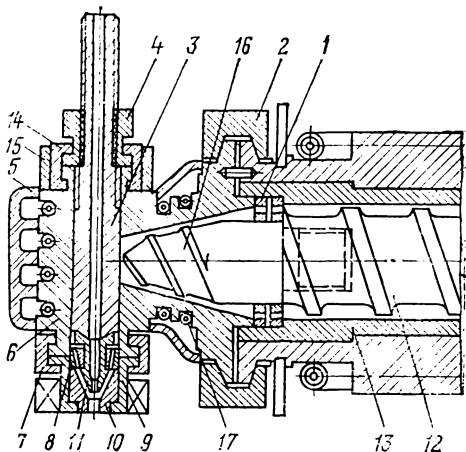
Ширина гребня  $e$  нарезки обычно лежит в пределах  $(0,1—0,15)D$ .

Зазор  $\delta$  между гребнем нарезки и стенкой цилиндра должен быть как можно меньше и составлять  $(0,001—0,002)D$ . В процессе работы допускается некоторое увеличение величины  $\delta$  до  $0,004D$ .

На качество изготавливаемого кабеля (провода) оказывает также влияние форма концевой части червяка.

Рис. 5.31. Малогабаритная головка экструдера.

1 — решетка; 2 — зажимное кольцо; 3 — дорнодержатель; 4 — гайка дорна; 5 — крышка; 6 — корпус; 7 — хомут; 8 — решетка; 9 — матрицедержатель; 10 — матрица; 11 — дорн; 12 — червяк; 13 — втулка цилиндра; 14 — разъемное кольцо; 15 — кольцо; 16 — насадка червяка; 17 — нагревательный элемент.



Существуют насадки различной формы, которые крепятся на резьбе к торцевой части червяка и способствуют лучшему продвижению материала из цилиндра в головку. Для переработки поливинилхлоридного пластика часто используются конусообразные насадки с винтовой нарезкой, входящие в канал головки, по которому расплав полимера поступает из цилиндра к дорнодержателю (рис. 5.31). Такая насадка препятствует образованию мертвых зон в конце цилиндра и начале головки, в которых возможен застой, перегрев и разложение полимера. При такой насадке решетка и сетки делаются кольцевой формы. Имеются насадки и других форм.

Температура в зонах цилиндра и головки экструдера и в охлаждающем устройстве оказывает большое влияние на качество изоляции и производительность экструдера. Выше отмечалось, что температуры стенки цилиндра  $t_{\text{ц}}$  и поверхности червяка  $t_{\text{ч}}$  в загрузочной зоне

выбираются такими, чтобы обеспечивался наибольший коэффициент трения между полимером и стенкой цилиндра и наименьший — между полимером и поверхностью червяка (см. рис. 5.4). В дозирующей зоне важное значение имеет однородность свойств полимера по всему объему канала нарезки червяка, что обеспечивается равномерным его нагревом. Этим обеспечивается высокое качество изоляции, выражающееся в однородности свойств по толщине слоя изоляции.

Наибольшую производительность можно получить в том случае, когда червяк имеет максимально высокую температуру. В этом случае при увеличении температуры расплава у поверхности червяка существенно снижается его вязкость  $\mu_{\text{ч}}$  и в соответствии с рис. 5.18 коэффициент  $F_1$  стремится к своему предельному значению, равному 2. Однако следует иметь в виду, что при этом ухудшается гомогенность расплава, а также имеется опасность чрезмерного перегрева полимера, приводящего к его разложению.

В свою очередь уменьшение температуры как цилиндра, так и червяка из-за увеличения вязкости полимера приводит к уменьшению обратного потока  $Q_{\text{обр}}$  и потока утечки  $Q_{\text{ут}}$ . Это делает более пологой характеристику червяка (см. рис. 5.17) и обеспечивает более стабильную работу экструдера [т. е. меньшие колебания производительности, а следовательно, и размеров кабеля (провода) при отклонении от нормы технологических параметров]. Поэтому в тех случаях, когда обеспечение стабильности размеров изготавливаемых кабелей является особенно важным, применяют охлаждение червяка и особенно его дозирующей зоны. Особенно это эффективно для червяков с глубокой нарезкой.

Для обеспечения особой стабильности технологического процесса часто увеличивают число зон обогрева цилиндра до четырех и даже до пяти. Конкретные температурные режимы по зонам экструдера, головки и формующего инструмента для различных перерабатываемых материалов приводятся ниже при описании технологических режимов в производстве конкретных типов кабелей и проводов.

После выхода из головки экструдера токопроводящая жила с нанесенным слоем изоляции, находящимся в состоянии расплава при температуре около  $200^{\circ}\text{C}$  (полиэтилен, поливинилхлоридные пластикаты), должна охла-

даться до температуры, при которой возможен ее прием на тяговое устройство. Необходимо эти материалы охладить по крайней мере до 60—70°C, чтобы исключить возможность деформации нанесенного слоя изоляции при прохождении через тяговое устройство агрегата. В современных агрегатах обычно применяется охлаждающее устройство в виде открытой ванны с циркулирующей охлаждающей водой, через которую движется изолированная жила.

При охлаждении полиэтиленовой изоляции применяется постепенное ступенчатое ее охлаждение, для чего используется чаще всего трехсекционная ванна. Температура воды в первой секции 80—90°C, во второй 50—70°C, в третьей — водопроводная вода. Такое постепенное охлаждение обусловлено большой усадкой полиэтилена и малой его теплопроводностью.

Если поступающий в охлаждающее устройство слой полиэтиленовой изоляции, находящийся при температуре около 200°C, охлаждается сразу холодной водой, то наружные слои изоляции быстро остывают и уменьшают свои размеры до определенного фиксированного значения. Из-за низкой теплопроводности внутренние слои изоляции еще не успеют охладиться и будут находиться в состоянии расплава. Постепенно будут охлаждаться и эти слои, существенно уменьшая свой объем. Однако это будет происходить при уже охлажденных и сформировавшихся наружных слоях, а поэтому во внутренних слоях изоляции и у поверхности жилы возможны появления воздушных пустот. Эти явления более ярко выражаются при больших радиальных толщинах изоляции. Наличие воздушных пузырей, пустот и мелких включений недопустимо почти во всех видах изоляции кабелей и проводов, так как существенно ухудшает электрическую прочность, однородность электрических и механических характеристик изоляции и т. п. Во избежание указанных явлений и проводят постепенное охлаждение полиэтиленовой изоляции.

Однако при малых толщинах слоя изоляции (менее 0,7 мм) из-за незначительного перепада температур по толщине полиэтиленовую изоляцию можно охлаждать холодной водой.

Изоляция из поливинилхлоридного пластика охлаждается сразу водопроводной водой. Это объясняется небольшим температурным коэффициентом объемно-

го расширения этого материала. Холодной водой охлаждается и резиновая изоляция. Плавающие фторопласты охлаждаются как горячей, так и холодной водой, а в некоторых случаях применяется и воздушное охлаждение. Это объясняется тем, что у ряда фторопластов при резком охлаждении расплава (холодная вода) образуется структура с меньшей степенью кристалличности, чем при постепенном (горячая вода). Для других фторопластов влияние быстроты охлаждения не оказывает заметного влияния на структуру, а следовательно, и свойства полимера. В зависимости от вида кабелей и проводов и предъявляемых к ним требований выбирают нужный режим охлаждения.

### *Глава шестая*

## **НАЛОЖЕНИЕ ПЛАСТМАССОВОЙ И РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ**

### **6.1. ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАЛОЖЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЭКСТРУЗИОННЫХ АГРЕГАТАХ**

В целях унификации технологических режимов и оборудования разработаны типовые технологические процессы, регламентирующие производство ряда кабелей и проводов.

В соответствии с этими требованиями и рекомендациями наложение полиэтиленовой изоляции<sup>1</sup> должно производиться на экструзионных агрегатах с червяком диаметром от 25 до 200 мм (см. табл. 5.2). Технологические параметры этих агрегатов приведены в табл. 5.3. Форма и геометрические размеры формующего инструмента приведены на рис. 5.28 и 5.29. Температурные режимы работы экструдера приведены в табл. 6.1.

Технологический прессовый (формующий) инструмент (дорн и матрица) должен быть термообработан и, как правило, хромирован. Параметр шероховатости (Ra) поверхностей этих деталей, соприкасающихся с

---

<sup>1</sup> За исключением изоляции: радиочастотных кабелей; силовых кабелей на напряжение свыше 10 кВ; из пористого полиэтилена; из сшитого полиэтилена; изоляции, накладываемой на скоростных поточных линиях, и др.

расплавом полимера и токопроводящей жилой, равен 0,32—0,25 мкм.

При наложении изоляции со скоростью более 200 м/мин дорны обязательно должны иметь наконечники из твердых сплавов или алмазов.

Таблица 6.1

**Температурные режимы работы экструдера при наложении полиэтиленовой изоляции**

Изоляционные материалы	Температура по зонам нагрева, °С				
	Цилиндр по зонам			Головка	Матрица
	1-я	2-я	3-я		
Полиэтилен низкой плотности:					
радиальная толщина до 0,8 мм	130—150	160—180	180—210	200—230	220—240
радиальная толщина свыше 0,8 мм	120—140	140—160	150—170	160—190	170—200
Полиэтилен высокой плотности	200—210	230—250	240—260	250—270	260—280
Самозатухающий полиэтилен	90—110	120—140	130—150	150—170	180—200

Заправка жилы или заготовки производится путем пропускания ее последовательно через следующие элементы экструзионного агрегата (см. рис. 5.24): компенсатор, правильное устройство, протирающее устройство, устройство для подогрева жилы, головку экструдера, охлаждающую ванну, прибор для измерения диаметра, аппарат сухого испытания (АСИ), счетчик длины, тяговое устройство, компенсатор, после чего жила принимается на приемный барабан. При наложении изоляции на жилы сечением 0,5 мм<sup>2</sup> и менее отдающее устройство должно иметь принудительную размотку жилы с катушки во избежание возможного увеличения натяжения, рывков и соответствующей вытяжки жилы.

Для обеспечения повышенной адгезии полимера к жиле она должна подогреваться до температуры не менее 80°С. Для экструдеров с диаметром червяком 90 мм и более подача гранул полиэтилена в загрузочный бункер должна быть механизирована.

Охлаждение изолированной жилы производится постепенно водой со ступенчатым изменением температу-

ры (табл. 6.2). Допускается охлаждение водопроводной водой проводов с радиальной толщиной изоляции менее 0,7 мм. Для удаления влаги с поверхности изоляции после охлаждающей ванны производится обдув жилы сжатым воздухом под давлением не менее 0,2 МПа.

Съем барабана или бухты с изолированной жилой производится электротельфером, гидравлическим или электрическим съемным устройством, а при массе барабана или бухты менее 20 кг допускается их съем вручную.

Таблица 6.2

**Параметры охлаждающих ванн экструзионных агрегатов для наложения полиэтиленовой изоляции, оболочки или защитного шланга**

Параметры охлаждающей ванны	Номинальный диаметр червяка экструдера, мм					
	20—45	60	90	125	160	200
Длина ванны, м, не менее	6	9	12	15	20	25
Число зон	3	3	3	3	4	5
Длина каждой зоны, м, не менее	2	3	3	4	5	5
Температура воды по зонам, °С:						
1-я зона	70—90					
2-я зона	50—60					
3—5-я зоны	Водопроводная вода без подогрева					

В процессе работы проверка качества поверхности изоляции и наличия в ней пустот и пузырей производится визуально при пуске агрегата, а также на каждом снятом барабане или бухте.

Проверка эксцентricности слоя изоляции должна производиться рабочим при запуске экструдера и на каждом конце выпускаемой строительной длины визуально, а также выборочно 1—2 раза в смену мастером или технологом. Проверка диаметра изолированной жилы производится микрометром или другими измерителями диаметра при пуске экструзионного агрегата и на каждом барабане, а при приеме в бухты — периодически, но не менее чем через пять бухт, а также в процессе работы экструдера не реже чем через 10 мин или непрерывно.

В комплекс технологического процесса наложения полиэтиленовой изоляции на поточных линиях входят: волочение проволоки с непрерывным ее отжигом



и непосредственным наложением полиэтиленовой изоляции или с приемом в промежуточные контейнеры и последующим использованием для наложения изоляции; наложение изоляции; охлаждение изолированной жилы; измерение диаметра и длины провода; испытание изоляции напряжением; прием жилы в контейнер, бухты или барабан; съём барабанов; контроль качества продукции.

Волочение медной проволоки производится на машинах среднего волочения, обеспечивающих волочение проволоки диаметром от 1,87 до 0,32 мм со скоростью не менее 15 м/с. Не менее пяти последних волок должны быть изготовлены из синтетических или натуральных алмазов. Подача эмульсии для смазки и охлаждения волок и тяговых конусов осуществляется централизованно.

Напряжение и ток отжига устанавливаются в зависимости от сечения токопроводящей жилы и обеспечивают заданное относительное удлинение медной проволоки. Отжиг во избежание окисления поверхности медной проволоки должен производиться в паровой среде.

Электропривод линии обеспечивает равномерную подачу токопроводящей жилы для последующего наложения на нее полиэтиленовой изоляции.

Наложение изоляции осуществляется в экструдерах с червяком диаметром 60—90 мм и длиной, равной 20 диаметрам червяка. Цилиндр экструдера имеет четыре зоны нагрева, головка — две зоны. Нагрев зон цилиндра и головки осуществляется нагревателями, обеспечивающими заданные температурные режимы, которые для скорости изготовления жилы 1000 м/мин даны в табл. 6.3.

Охлаждение цилиндра — воздушное, червяка — не производится. Регулирование температурного режима переработки осуществляется автоматически.

Каждая поточная линия снабжается комплектом технологической оснастки и приспособлениями.

Головка экструдера укомплектовывается фурмуемым инструментом с жесткой или регулируемой центровкой. Дорн имеет вставку из синтетических или натуральных алмазов. Поверхность, соприкасающуюся с пластмассами, рекомендуется хромировать толщиной 0,025—0,051 мм. После хромирования необходима полировка поверхностей. При наложении изоляции на жилу

Температурные режимы переработки полиэтилена на поточных линиях  
(скорость изолирования 1000 м/мин)

Перерабатываемый матери	Температура, °С					
	Цилиндр по зонам				Головка	Матрица
	1-я	2-я	3-я	4-я		
Полиэтилен низкой плотности (радиальная толщина изоляции не более 0,3 мм) марок 178-01К, 178-02К, 178-04К, 178-05К, 107-01К, 107-02К, 107-04К, 107-05К	120—150	16С—190	230—260	270—300	270—300	270—300
Полиэтилен низкой плотности (радиальная толщина изоляции не более 0,3 мм) марок 153-01К, 153-02К, 153-04К, 153-5К, 102-01К, 102-02К, 102-04К, 102-05К	140—170	180—210	250—280	290—320	280—310	280—310
Полиэтилен низкой плотности марок 178-01К, 178-02К, 178-04К, 178-05К, 107-01К, 107-02К, 107-04К, 107-05К с 10%-ной добавкой полиэтилена высокой плотности марок 206-07К, 206-19К	140—160	180—220	240—270	280—300	280—300	280—300

диаметром  $d_{ж} \leq 0,5$  мм диаметр дорна принимается равным  $d_{ж} + (0,01 - 0,02)$  мм, а выше 0,5 мм равным  $d_{ж} + (0,05 - 0,15)$  мм. Диаметр матрицы при наложении изоляции на жилу диаметром до 2 мм принимается равным  $(1,0 - 1,1)d_{из}$ , а диаметром 2,1 мм — равной  $d_{из}$ . В головке экструдера устанавливаются стальные и латунные фильтрующие сетки в количестве не менее трех, номера сеток — 056; 045; 016. Смену фильтрующих сеток производят по мере необходимости, но не реже 1 раза в три смены.

Допускается охлаждение жилы с полиэтиленовой изоляцией толщиной до 1,0 мм проточной водой при условии отсутствия в наложенной изоляции воздушных включений и достаточного обжата жилы изоляцией. Изолированная жила принимается на приемную тару холодной во избежание деформации изоляции, без наличия влаги на поверхности. Жила не должна касаться стенок охлаждающей ванны и должна быть полностью погружена в воду.

Длина охлаждающей ванны определяется в зависимости от скорости изготовления жил: при скорости до 1000 м/мин — не менее 9 м, а свыше 1000 м — не менее 15 м. На выходе из ванны жила обдувается воздухом давлением не менее 0,2 МПа для удаления влаги с поверхности.

Поточная линия укомплектовывается аппаратом сухого испытания (АСИ) со счетчиком для регистрации числа пробоев изоляции, а также приспособлением для измерения фактической длины изолированного провода. В процессе производства контролируются конструктивные размеры, целостность и качество изоляции, электрическое сопротивление токопроводящей жилы при 20°C, целостность жилы с помощью любых индикаторных приборов при постоянном напряжении не более 200 В, относительное удлинение токопроводящей жилы, сопротивление изоляции.

## **6.2. ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАЛОЖЕНИЯ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЭКСТРУЗИОННЫХ АГРЕГАТАХ**

Токопроводящая жила, жила в обмотке, эмалированный провод и другие виды заготовки поступают на операцию наложения поливинилхлоридной изоляции в

сухом и чистом виде. Заготовка сечением до 1 мм<sup>2</sup> наматывается на катушки или барабаны, а сечением свыше 1 мм<sup>2</sup> — на барабаны. Допускается намотка однопроволочной изолированной токопроводящей жилы в бухты или прием в контейнеры.

Поливинилхлоридный пластикат для наложения изоляции на кабели и провода соответствует типам И, ИО и ИТ. Перед пуском в переработку поливинилхлоридный пластикат выдерживается в производственном помещении не менее 12 ч. При необходимости перед загрузкой в экструдер пластикат подвергают предварительной сушке при 60—70°C не менее 1 ч или при 40—50°C не менее 4 ч горячим воздухом. Целесообразно произвести подогрев пластиката горячим воздухом (до 70°C) непосредственно в загрузочном бункере экструдера.

Переработка поливинилхлоридного пластиката различных партий должна производиться отдельно. Рекомендации по выбору экструдера в зависимости от диаметра изолируемой жилы приведены в табл. 6.4, а оптимальные параметры экструдеров — в табл. 6.5.

Таблица 6.4

**Экструзионные агрегаты, рекомендуемые при наложении изоляции из поливинилхлоридного пластиката на жилы кабелей и проводов**

Наименование характеристики	НТ-45 (ВНР)	МЕ-1-60 (ГДР)	МЕ-1-90 (ГДР)	МЕ-1-125 (ГДР)	МЕ-1-160 (ГДР)
Диаметр червяка, мм	45	60	90	125	160
Частота вращения червяка, об/мин	15—120	До 200	16—120	10—100	9—90
Максимальная производительность по поливинилхлоридному пластику, кг/ч	60	120	230	400	600
Линейная скорость, м/мин	До 700	До 700	До 600	До 200	3,5—70
Диаметр жилы, мм	0,2—1,8	0,5—2,0	1,0—6,0	5,0—20,0	Более 20
Диаметр по изоляции, мм	0,4—3,0	До 6,0	До 8,0	До 30,0	До 40,0

Отдающее устройство экструзионного агрегата обеспечивает равномерный сход и требуемое натяжение заготовки. Поворотные и правильные ролики, тяговые колеса, ролики компенсаторов должны иметь ровную

**Оптимальные параметры экструдеров при наложении изоляции из поливинилхлоридного пластика**

Наименование параметров	Показатель
Отношение длины червяка к диаметру	25
Тип червяка	Однозаходный, с шагом нарезки, равным диаметру червяка
Коэффициент сжатия	2—3,5
Зазор между гребнем нарезки червяка и цилиндром	0,001—0,002 диаметра червяка
Обогрев пресса	Электрический
Охлаждение цилиндра	Воздушное или водяное. Охлаждение загрузочной зоны — водяное
Охлаждение червяка	Водяное, масляное или воздушное
Количество зон обогрева	Не менее трех зон обогрева цилиндра, головки, матрицы
Количество (не менее) и номера сеток (не более)	2 сетки № 02 по ГОСТ 6613-73 и 1 стальная сетка № 045 по ГОСТ 4601-73. Периодичность смены сеток не реже 1 раза в смену

гладкую поверхность. Дорн и матрица изготавливаются из стали и подвергаются термообработке до твердости 58—65 по Роквеллу. Параметр шероховатости поверхностей, соприкасающихся с жилой и пластмассой, Ra не превышает 0,32 мкм. Поверхности, соприкасающиеся с пластмассой, хромируют (с нанесением покрытия толщиной 0,015—0,050 мм) или оксидируют. При изолировании жил диаметром до 2,0 мм дорн имеет вставку из твердых сплавов или алмаза. Форма и параметры формующего инструмента, используемого при наложении поливинилхлоридной изоляции, приведены на рис. 6.1.

Таблица 6.6

**Температурный режим переработки поливинилхлоридного пластика типов И, ИТ и ИЮ при наложении изоляции**

Температура, °C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ )						Температура массы на выходе из головки, °C
Цилиндр по зонам				Головка	Матрица	
1-я	2-я	3-я	4-я			
135	145	155	165	165	175	170

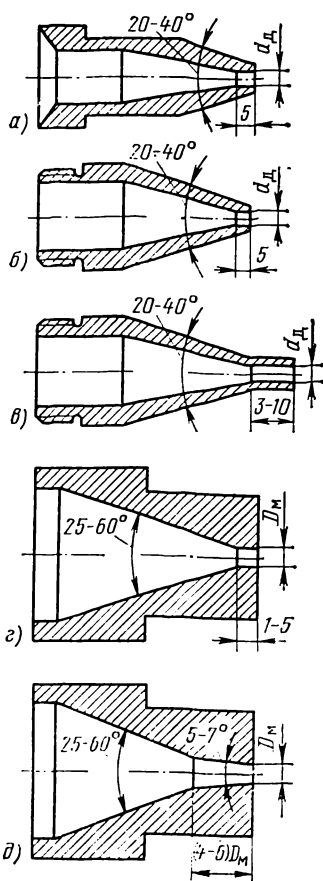


Рис. 6.1. Формующий инструмент для наложения изоляции из поливинилхлоридного пластиката.

а, б — дорны для наложения изоляции из поливинилхлоридного пластиката (отличающиеся формой хвостовой части); в — дорн для наложения изоляции с вакуумированием; г — матрица для наложения изоляции; д — матрица для наложения изоляции двухконусная.

Диаметр дорна  $d_d$  выбирается на 0,05—0,50 мм больше диаметра токопроводящей жилы.

Диаметр матрицы  $D_m$  равен диаметру готовой изолированной жилы. Жилу подогревают до 90—150°C (табл. 6.6).

Вакуумирование головки производят с помощью масляных, эжекторных или других вакуум-насосов. Остаточное давление не более 80 кПа.

Питание экструдера с червяком диаметром до 90 мм гранулированным пластикатом осуществляется пневматическим или червячным транспортером в его бункер. Соотношение неокрашенного и концентрированно окрашенного пластиката устанавливается в соответствии с утвержденной технической документацией.

Введение концентрированно окрашенного пластиката производят вручную с помощью вибрационного питателя или другим способом, обеспечивающим равномерное окрашивание смеси.

Изолированная жила охлаждается в ванне проточной водопроводной водой. Длина охлаждающей ванны при наложении изоляции из поливинилхлоридного пластиката равна:

Диаметр червяка экструдера, мм . . . . .	40 (45)	60 (63)	90	120 (125)	150 (160)
Длина охлаждающей ванны, м, не менее	6	9	12	15	20

Обдув изолированной жилы для удаления остатков воды производится сжатым воздухом под давлением не менее 0,2 МПа.

Испытание электрической прочности наложенной изоляции производится на аппарате сухого испытания. В процессе изолирования в экструзионном агрегате постоянно осуществляется контроль качества наложения изоляции. Регулярно контролируются соблюдение технологических режимов по приборам агрегата. Диаметр изолированной жилы и толщина изоляции проверяются при пуске экструдера и на каждом барабане и контейнере с изолированной жилой. При приеме изолированной жилы в бухты контроль осуществляется периодически, но не менее чем через пять бухт.

При измерении диаметра изолированной жилы приборами контактного или фотоэлектрического типа контроль осуществляется по приборам периодически, но не менее чем через 20 мин.

Качество поверхности изоляции, которое оговаривается соответствующими техническими документами, контролируется визуально при пуске экструдера на каждом барабане, контейнере, бухте и в процессе работы не менее чем через 20 мин.

### **6.3. НАЛОЖЕНИЕ СПЛОШНОЙ ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЖИЛЫ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

При наложении сплошной пластмассовой изоляции на токопроводящие жилы силовых кабелей большое влияние на технологические режимы изолирования оказывает рабочее напряжение этих кабелей. Толщина полиэтиленовой или поливинилхлоридной изоляции кабелей напряжением до 10 кВ выбирается обычно из соображений механической прочности изоляции. Это связано с тем, что в кабелях на такие напряжения рабочая напряженность электрического поля существенно ниже электрической прочности таких высококачественных диэлектриков, как полиэтилен и поливинилхлоридный пластикат. Поэтому особо жестких требований к изолированию этих кабелей (в отличие от высоковольтных) не предъявляют.

[Процесс должен осуществляться таким образом, что-

бы обеспечить равномерное по толщине, плотное наложение слоя изоляции без воздушных включений. Когда слой изоляции накладывается на секторную жилу, формирующий инструмент располагают в соответствии с рис. 5.27,б, что обеспечивает свободное наложение изоляции (трубкой), а дорн вакуумируют, в результате чего изоляция плотно облегает секторную жилу.

При рабочем напряжении свыше 10 кВ электрическое поле в изоляции существенно увеличивается и вероятность пробоя изоляции в случае наличия в ней различных неоднородностей возрастает. Эти неоднородности могут образоваться от возможных загрязнений исходного изоляционного материала, от колебаний показателя текучести расплава полимера, от неравномерностей скоростей потоков расплава в формирующем инструменте, возникающих при наложении изоляции значительной радиальной толщины, от неравномерного охлаждения изоляции и др.]

Эти причины могут в конечном итоге привести к получению неравномерной по толщине изоляции и образованию в ней отдельных, отличающихся по электрическим характеристикам (проводимость, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь) участков. Эти участки вызывают искажение (усиление) электрического поля и являются поэтому потенциальными очагами пробоя изоляции. Особенно опасны воздушные включения и участки с повышенной проводимостью.

Выше отмечалось, что воздушные включения могут образовываться в полиэтиленовой изоляции при достаточно резком охлаждении ее после выхода из головки экструдера. С увеличением толщины слоя эта опасность возрастает. Поэтому при изолировании силовых кабелей на напряжение свыше 10 кВ может применяться такой режим охлаждения: 1-я зона ванны 90—95°C, последующее охлаждение — воздушное. Силовые и высоковольтные кабели с большой радиальной толщиной изоляции часто изолируются за два или большее число проходов.

Для увеличения производительности и более качественного проведения процесса изолирования кабелей со значительной толщиной изоляции используют так называемые сдвоенные экструдеры (см. рис. 5.23). В этих агрегатах два экструдера подают перерабатываемый материал в одну головку, в которой происходит после-



довательное наложение слоев изоляции на токопроводящую жилу.

✓ Для изоляции жил силовых и высоковольтных кабелей с пластмассовой изоляцией обычно используется вулканизующийся (химически сшиваемый) полиэтилен. Такая изоляция после наложения в экструдере подвергается термообработке, в результате чего за счет введенных химических добавок происходит образование сшитой пространственной структуры полиэтилена. Это заметно повышает механическую прочность, стойкость к тепловым воздействиям, а следовательно, и рабочую температуру изоляции и допустимый рабочий ток в кабеле. Весьма существенно повышается, в частности, стойкость к действию повышенных токов в случае короткого замыкания кабельной линии.

Наложение изоляции из вулканизирующегося полиэтилена проводят на кабельных линиях непрерывной вулканизации, аналогичных применяемым в производстве кабелей и проводов с резиновой изоляцией (см. § 6.9).

В этом случае из головки экструдера изолированная жила поступает в вулканизационную камеру, в которой в качестве теплоносителя используется насыщенный пар под давлением 1,4—2,0 МПа, что соответствует температуре 200—213°C. В этой среде происходит термообработка изоляции, т. е. вулканизация полиэтилена. В этих линиях применяются экструдеры с червяком длиной от 12 до 20 его диаметров.

Температура расплава вулканизирующегося полиэтилена во избежание преждевременной вулканизации в экструдере не должна превышать 130—135°C, в связи с чем устанавливается следующий температурный режим по его зонам: 1-я и 2-я зоны цилиндра 100—110°C, 3-я зона 110—120°C, головка 120—130°C.

Многожильные плоские (или ленточные) провода и кабели изготавливаются путем переплетения отдельно изолированных жил, тепловой сварки или методом экструзии полимера на параллельные жилы и др. Особенности производства ленточных проводов и кабелей в экструдерах является требование наложения слоя пластмассовой изоляции на токопроводящие жилы, расположенные в одной плоскости с точным соблюдением заданного расстояния между ними. Последнее обстоятельство связано с требованиями к электричес-

ким параметрам (емкость, волновое сопротивление и др.) этих проводов.

Для производства ленточных проводов разработаны технологические режимы и создан специальный формующий инструмент. Ленточные провода изготавливаются с использованием обычных экструдеров. Например, для проводов марок ПВП с количеством жил 24, 48, 54, 60 применяется экструдер с червяком 90 мм. При использовании для изоляции полиэтилена низкой плотности (марки 153-01К) применяется следующий температурный режим по зонам процесса: 1-я зона 120°C, 2-я зона 140°C, 3-я зона 175°C, 4-я зона 225°C, головка 250°C. Линейная скорость изолирования составляет 6—12 м/мин. Охлаждение двухступенчатое; температура воды в первой секции ванны 55—60°C, во второй —

водопроводная проточная вода. При выходе из ванны провод обдувается сжатым воздухом для удаления влаги с поверхности. Тяговое устройство применяется гусеничного типа. Готовый провод длиной в 50—100 м принимается в вертикально расположенную кассету.

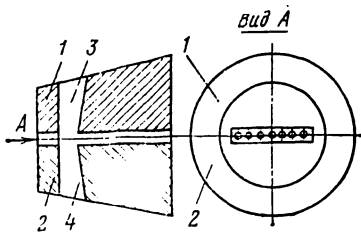


Рис. 6.2. Формующий инструмент для изолирования ленточных проводов.

Во избежание увеличенных отходов для изолирования применяют катушки с намотанной токопроводящей

жилой одинаковой длины, которая должна сходиться с катушек равномерно без рывков. Отдающее устройство может иметь до 60 катушек. Перед входом в головку жилы проходят через фетровый протир для очистки и через распределительное устройство для равномерного распределения жил в горизонтальной плоскости. Оно представляет собой пластину с отверстиями по числу жил.

Для изготовления многожильных ленточных кабелей разработан специальный разъемный формующий инструмент, содержащий дорн с направляющими каналами для токопроводящих жил, матрицу и каналы для подачи расплава полимера (рис. 6.2). Плоскость разъема горизонтальная, т. е. проходит через оси направляющих каналов.

Такая конструкция инструмента исключает операцию центровки дорна и матрицы, так как каждая половина (1 и 2, рис. 6.2) разъемного инструмента содержит элементы и дорна и матрицы. Такой инструмент обеспечивает относительно легкую заправку токопроводящих жил, однако его конструкция не предотвращает возможность смещения жил относительно друг друга в процессе экструзии.

Для устранения этого недостатка канала (3 и 4) для подачи полимера расположены в обеих половинах инструмента симметрично по отношению к плоскости разъема. Части канала представляют по форме усеченные пирамиды со скругленными углами между гранями, а ширина каналов в месте их пересечения с плоскостью разъема превышает ширину формирующей части матрицы.

Разборный инструмент удобен и надежен в эксплуатации, позволяет изготавливать ленточные провода с небольшим шагом укладки (до 0,3 мм) и практически любым диаметром токопроводящих жил.

При обрыве жил инструмент позволяет производить перезаправку без его разборки. Тот факт, что конструкция инструмента разборная, существенно облегчает процесс его изготовления.

## **6.4. ОСОБЕННОСТИ НАЛОЖЕНИЯ СШИТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Большинство полимеров, используемых для изоляции кабелей и проводов, имеют линейную структуру. Для улучшения физико-механических характеристик и, прежде всего, нагревостойкости используют пластмассы со сшитой структурой. В этих материалах поперечные связи или сшивки между молекулами осуществляются или за счет облучения потоков элементарных частиц на электронных ускорителях или за счет введения вулканизирующих добавок. Первый процесс называют модифицированием изоляции методом облучения, второй — химической сшивкой или вулканизацией пластмасс. В качестве материала для получения сшитой пластмассовой изоляции чаще всего используют полиэтилен, а в качестве источника излучений — промышленные ускорители электронов.

Процесс модифицирования полиэтиленовой изоляции кабелей и проводов заключается в образова-

нии поперечных связей между атомами углерода в соседних макромолекулах и в результате этого — трехмерной структуры. При этом увеличивается молекулярная масса и образуется нерастворимая часть полимера, называемая гелефракцией. Это, в свою очередь, приводит к улучшению таких физико-механических показателей полимера, как нагревостойкость, стойкость к растрескиванию и др.

Степень облучения и параметры изоляции зависят от необходимой поглощенной дозы излучения, которая составляет  $(0,5—1) \cdot 10^6$  Гр и зависит от материала изоляции и требований, предъявляемых к данному типу кабелей или проводов.

Установка для модифицирования полиэтиленовой изоляции методом облучения (рис. 6.3) состоит из ис-

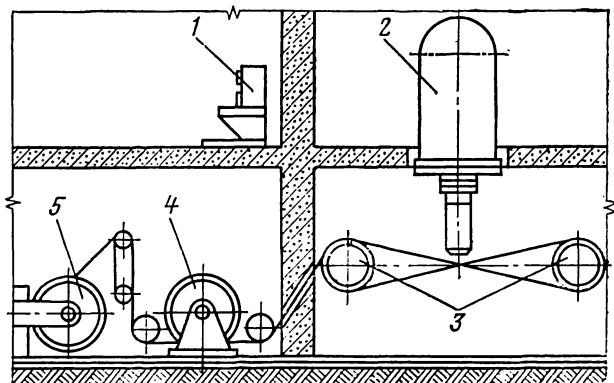


Рис. 6.3. Схема установки для получения сшитой изоляции методом облучения.

1 — пульт управления; 2 — ускоритель электронов; 3 — поворотный блок роликов; 4 — отдающее устройство; 5 — приемное устройство.

точника ионизирующего излучения — ускорителя электронов и технологической линии, обеспечивающей транспортирование по специальному маршруту изолированной жилы через зону облучения. Ускоритель электронов типа ЭлВ обеспечивает энергию излучения до  $(1—2,5) \cdot 10^{-3}$  Дж или 0,7—1,5 МэВ при средней мощности излучения 20 кВт. В зоне облучения обеспечивается многократное прохождение изолированной жилы.

При этом с помощью поворотных роликов обеспечивается обращение к выпускному окну ускорителя разных участков боковой поверхности изоляции. Это необходимо во избежание образования участков изоляции, получивших меньшую дозу облучения за счет экранирования их токопроводящей металлической жилой. Облучению подвергается полиэтиленовая изоляция кабелей и проводов, а также оболочка кабелей наружным диаметром до 20 мм. Толщины облучаемой изоляции жил или оболочки до 2,0 мм.

Скорость прохождения изолированной жилы в зоне облучения зависит от поперечного сечения жилы и энергии электронов и составляет 240—50 м/мин для проводов сечением 0,08—1,00 мм<sup>2</sup> при энергии электронов  $(0,8—0,96) \cdot 10^{-3}$  Дж, 100—20 м/мин для сечений 1,0—60 мм<sup>2</sup> при энергии электронов  $(0,96—1,12) \cdot 10^{-3}$  Дж, 20—10 м/мин для сечений 6,0—25,0 мм<sup>2</sup> при энергии  $(1,93—2,41) \cdot 10^{-3}$  Дж.

Поглощенная доза излучения устанавливается по испытанию на гельфракцию. Нерастворимая в толуоле или ксилоле после облучения часть полимера (гельфракция) обычно составляет 70—90% массы образца и зависит от условий эксплуатации готовых кабелей и проводов. Поглощенную дозу излучения регулируют путем изменения скорости прохождения жилы в зоне облучения, тока ускорителя и числа проходов.

Химически сшитый, так же как и облученный, полиэтилен по сравнению с обычным имеет ценные эксплуатационные качества [повышенную нагревостойкость к кратковременному воздействию повышенных (до 250°C) температур, повышенную стойкость к растрескиванию в напряженном состоянии, к старению, к механическим истирающим и продавливающим воздействиям и др.]. Получение сшитой структуры полиэтилена осуществляется за счет введения в его состав небольшого количества органических перекисей, которые при определенной температуре распадаются с образованием свободных радикалов, обеспечивающих образование химических связей между линейными молекулами полиэтилена. Чаще всего для получения сшитого полиэтилена применяется перекись дикумила. Температура в зонах экструдера при переработке полиэтилена с введенной в него перекисью не должна превышать температуру разложения последней.

Процесс сшивания осуществляется при нагреве наложенного в экструдере слоя изоляции в вулканизационной камере большой длины, герметично соединенной с головкой экструдера. Аналогично с линиями для вулканизации кабелей и проводов с резиновой изоляцией (см. § 6.9) нагрев слоя полиэтилена до температур, превышающих температуру разложения перекиси-вулканизатора, проводят в среде насыщенного пара, находящегося при повышенном давлении, а следовательно, и повышенной температуре. Чем выше температура в камере, тем быстрее проходят реакции сшивания, т. е. можно допустить более высокую скорость прохождения изолируемой жилы через вулканизационную камеру.

Для производства кабелей и проводов с изоляцией из химически сшитого полиэтилена применяются экструдеры с отношением длины рабочей части червяка к его диаметру, лежащим в пределах 12—20. Температура по зонам экструдера: 1-я и 2-я зоны 100—110°C, 3-я зона 110—120°C, головка 120—130°C. Температура расплава не должна превышать 130—135°C во избежание преждевременной сшивки молекул полимера, находящегося в экструдере. Давление пара в вулканизационной камере в зависимости от размеров токопроводящей жилы и слоя изоляции выбирается в пределах 1,4—2 МПа, что соответствует 195—213°C.

## **6.5. НАЛОЖЕНИЕ СПЛОШНОЙ И БАЛЛОННОЙ ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЖИЛЫ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ**

Изолирование токопроводящих жил кабелей связей сплошным слоем полиэтилена используется в процессе производства лишь некоторых типов симметричных кабелей связи. К ним, в частности, относятся одночетверочные кабели зоной (внутриобластной) и одночетверочные или однопарные кабели сельской связи, а также многопарные телефонные кабели для городских телефонных сетей.

Городские телефонные кабели с токопроводящими жилами диаметром 0,4—0,7 мм имеют полиэтиленовую изоляцию толщиной 0,2—0,4 мм, которая накладывается на поточных автоматических линиях, технологические режимы и особенности которых изложены выше (см. § 6.1).

Технология наложения сплошной полиэтиленовой изоляции толщиной 0,7—1,1 мм на токопроводящие медные жилы диаметром 0,9—1,2 мм одночетверочных или однопарных кабелей связи производится в соответствии с режимами, определяемыми типовым технологическим процессом наложения полиэтиленовой изоляции на экструзионных агрегатах (см. § 6.1).

Приведем в качестве примера технологический режим изолирования сплошным слоем полиэтилена толщиной  $1 \pm 0,1$  мм медной токопроводящей жилы диаметром 1,2 мм кабеля зонной связи ЗКП  $1 \times 4 \times 1,2$  в экструдере с червяком 63 мм. Температурный режим по зонам цилиндра: 1-я зона  $140 \pm 10^\circ\text{C}$ , 2-я зона  $160 \pm 10^\circ\text{C}$ , 3-я зона  $200 \pm 10^\circ\text{C}$ , головка  $210 \pm 10^\circ\text{C}$ . Охлаждающая ванна имеет четыре зоны охлаждения с температурой воды: 70—80, 45—55, 30—40 $^\circ\text{C}$ , водопроводная вода. Длина зон соответственно равна: 2,3; 2,2; 2,5 и 4 м. Линейная скорость изолирования составляет 75 м/мин.

Параметры червяка: диаметр 63 мм, шаг нарезки 65 мм, ширина гребня нарезки 5 мм, длина червяка 1412 мм, длина зоны сжатия 30 мм, длина зоны дозирования 290 мм, глубина нарезки червяка в зоне загрузки и дозирования соответственно 8 и 2,5 мм, радиальный зазор между гребнем нарезки червяка и внутренней поверхностью цилиндра не более 0,4 мм. Расположение и размеры формирующего инструмента в головке экструдера приведены на рис. 6.4.

Комбинированная баллонная изоляция применяется в производстве малогабаритных коаксиальных кабелей связи, а кордельно-трубчатая изоляция — в некоторых типах симметричных кабелей связи. Главной составной частью этих видов изоляции является полиэтиленовая трубка, которая в баллонной изоляции после экструзии периодически пережимается (с шагом около 16 мм) в специальном устройстве для фиксации на токопроводя-

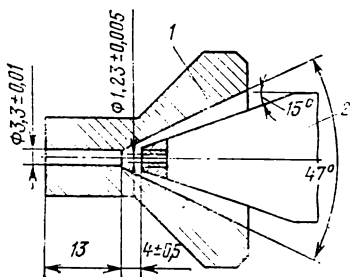


Рис. 6.4. Расположение формирующего инструмента при изолировании полиэтиленом жил кабелей связи.

1 — матрица; 2 — дорн.

щей жиле, а в кордельно-трубчатой изоляции накладывается поверх полиэтиленового корделя, спирально расположенного на жиле. Наличие участков воздуха между внутренней поверхностью трубки и жилой обеспечивает необходимые электроизоляционные характеристики этим видам изоляции.

Полиэтиленовая трубка свободно без обжатия экструдирована из головки, поэтому для ее наложения используется расположение формирующего инструмента в соответствии с рис. 5.27,б. Дорн имеет удлиненную цилиндрическую часть, выступающую из матрицы на 2—3 мм. Толщина полиэтиленовой трубки составляет 0,2—0,35 мм. При производстве баллонной изоляции применяется обычный экструдер, оснащенный устройством для подачи в дорн азота или другого инертного газа под небольшим избыточным давлением (около 0,01 МПа) для формирования трубки. Баллон с сжатым газом расположен рядом с экструдером, и газ подается в дорн через редуктор, патрубков 10 и специальную уплотняющую насадку 9, расположенную на дорнодержателе (см. рис. 5.15). Перед входом в пережимное устройство выпрессованная трубка проходит через охлаждающую ванну с горячей водой, температура которой поддерживается в диапазоне 95—98°C. Линейная скорость наложения баллонной изоляции составляет 30 м/мин и выше.

## **6.6. НАЛОЖЕНИЕ ПОРИСТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЖИЛЫ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ**

С целью уменьшения диэлектрической проницаемости изоляции в некоторых конструкциях кабелей связи используется пористая полиэтиленовая изоляция, представляющая собой газонаполненный полиэтилен низкой плотности, в котором нейтральный газ (азот) занимает несообщающиеся между собой макро- или микроскопические полости. Пористый полиэтилен получается путем вспенивания размягченного материала из-за расширения газа, равномерно распределенного в полимере или образующегося при разложении введенных в материал пенообразующих веществ.

За счет уменьшения относительной диэлектрической проницаемости (около 1,5) и плотности (420—



460 кг/м<sup>3</sup>) без ухудшения основных параметров возможно уменьшение диаметра по изоляции жил кабелей связи, что обуславливает существенное уменьшение материалоемкости этих кабелей. Пористую полиэтиленовую изоляцию применяют для изоляции низкочастотных кабелей дальней связи (типа ТЗПАШп), однокоаксиальных кабелей зонной связи (типа ВКПАШп) и др.

Среди различных способов получения пористой полиэтиленовой изоляции наиболее широкое распространение получил химический способ вспенивания, при котором газообразователь вводится в полиэтилен до переработки на экструдере. Распределение химического газообразователя в перерабатываемом материале влияет на размер пор и равномерность их размещения по объему изоляции.

Приготовление композиций для получения пористого полиэтилена производится или путем поверхностного нанесения тонкодисперсного порошка на гранулы полиэтилена в смесителе, или путем смешения полиэтилена с концентратом газообразователя, полученного путем введения последнего в расплав полиэтилена. Недостатком первого способа является невозможность длительного хранения таких композиций из-за способности газообразователя поглощать влагу и осыпаться. Недостатком второго способа является неравномерность распределения газообразователя из-за малого процентного содержания концентрата в композиции. В качестве газообразователя применяется порофор ЧХЗ-57 для толстостенной изоляции и порофор ЧХЗ-21 для тонкостенной изоляции.

При наложении изоляции из пористого полиэтилена важным условием является поддержание заданной температуры цилиндра экструдера. Это вызвано тем, что температурный режим переработки влияет как на интенсивность порообразования и, следовательно, на плотность изоляции, так и на производительность экструдера. Поэтому возможность отклонения диаметра изоляции по длине от своего номинального значения при наложении пористой полиэтиленовой изоляции больше, чем при наложении сплошной изоляции.

Так как температура разложения порофоров лежит в пределах 120—140°C, то температуры по зонам цилиндра экструдера при переработке пористого полиэтилена ниже, чем при переработке полиэтилена, во избе-

жание начала разложения порофора и выделения азота в цилиндре.

При выборе размеров формующего инструмента учитывают тот факт, что при выходе из головки экструдера изоляция существенно увеличивается в объеме за счет наличия в ней газа. Поэтому диаметр матрицы  $D_m$  выбирают меньшим, чем требуемый диаметр по изоляции  $D_{из}$ . Для ориентировочного расчета диаметра матрицы можно пользоваться следующей формулой:

$$D_m = \sqrt{\frac{\gamma_{п}(D_{из}^2 - d_{ж}^2)}{\gamma_{с}} + d_{ж}^2} \quad (6.1)$$

где  $d_{ж}$  — диаметр жилы, мм;  $\gamma_{п}$ ,  $\gamma_{с}$  — плотности пористого и сплошного полиэтилена, составляющие соответственно 420—460 и 920 кг/м<sup>3</sup>.

При выборе диаметра матрицы учитывают также последующую усадку изоляции при охлаждении. Длина цилиндрической части матрицы принимается равной примерно диаметру матрицы, расстояние между дорном и цилиндрической частью матрицы принимается равным толщине изоляции.

Приведем в качестве примера технологический режим изолирования пористым полиэтиленом низкочастотного кабеля ТЗПАШп 4×4×1,2 на экструдере «Андуар-63». Диаметр токопроводящей жилы равен 1,2 мм, диаметр по изоляции 2,4—2,45 мм. Температура по зонам цилиндра: 1-я зона 100±10°C, 2-я зона 110±10°C, 3-я зона 120±10°C, 4-я зона 130±10°C, головка 140±±10°C, матрица 200±10°C. Расстояние от головки до ванны 0,8—1 м. Температурный режим охлаждения: 1-я ванна 70—80°C, 2-я ванна 18—20°C. После выхода из ванны изолированная жила обдувается горячим воздухом. Диаметр дорна 1,22 мм, диаметр матрицы 1,65—1,7 мм. Линейная скорость изолирования 100—120 м/мин.

## 6.7. НАЛОЖЕНИЕ СПЛОШНОЙ И КОРДЕЛЬНО-ТРУБЧАТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ

Особенностью работы радиочастотных кабелей является то, что передача по ним сигналов существенно ухудшается при наличии различных электрических неоднородностей по длине кабеля. Эти неоднородности

вызываются главным образом колебанием по длине геометрических размеров кабеля и в первую очередь диаметра по изоляции. Даже весьма незначительные отклонения этой величины от номинального значения, исчисляемые десятками (и даже сотыми) долями миллиметра, могут существенно ухудшить электрические показатели радиочастотных кабелей. Особенно существенное влияние оказывают повторяющиеся по длине колебания диаметра по изоляции.

Эти колебания диаметра возникают из-за периодичности работы узлов экструзионного агрегата, накладывающего изоляцию. Из-за незначительного эксцентриситета тягового колеса агрегата, пульсации давления в головке экструдера на 1 оборот червяка, незначительных биений отдающего барабана с жилой и других причин происходит периодическое колебание производительности экструдера или линейной скорости прохождения внутреннего проводника через головку экструдера и как следствие этого возникают колебания диаметра по изоляции.

Для уменьшения этих нежелательных колебаний предусматриваются меры, обеспечивающие более стабильный процесс изолирования радиочастотных кабелей.

Для наложения изоляции на кабели с внутренним проводником до 2 мм применяются дорны со вставкой из твердого сплава.

Для наложения изоляции (и оболочки) применяются матрицы трех типов: с цилиндрической частью длиной (2—4)  $D_m$  (рис. 6.5,б) с укороченной цилиндрической частью длиной (1—2)  $D_m$  (см. рис. 5.29,б); двухконусные без цилиндрической части (рис. 6.5,а).

При производстве кабелей повышенной однородности, имеющих значительно меньший допуск на диаметр по изоляции, применяются матрицы двухконусного типа.

При изолировании внутреннего проводника диаметром более 0,5 мм применяется его подогрев до 80—100°C для удаления влаги с его поверхности и улучшения адгезии накладываемой изоляции.

Крупногабаритные радиочастотные кабели имеют диаметр по изоляции свыше 11,5 мм. Изоляция этих кабелей часто накладывается за два или большее число проходов по специально разработанному для этих случаев технологическим режимам.

Температурный режим при наложении первого слоя: 1-я зона 115—150°C, 2-я зона 135—170°C, 3-я зона 160—190°C, 4-я зона 180—230°C, головка 195—250°C, матрица 195—250°C. Температура подогрева заготовки 60—100°C. Охлаждение наложенной изоляции производится ступенчато. Температура воды по зонам охлаждающей ванны: 1-я зона 80—90°C, 2-я зона 70—80°C, 3-я зона 50—65°C. При наложении второго и третьего слоев изоляции температурные режимы соответствуют верхнему пределу указанных диапазонов.

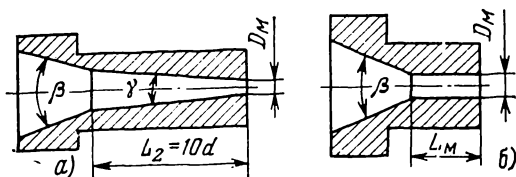


Рис. 6.5. Формующий инструмент для наложения полиэтиленовой изоляции при производстве радиочастотных кабелей.

Практика изготовления крупногабаритных радиочастотных кабелей показывает, что при температуре воды в 3-й зоне охлаждающей ванны ниже 50°C при скоростях изолирования 13—25 м/мин в толще изоляции возникают из-за слишком резкого охлаждения воздушные пузыри и изоляция не выдерживает испытания напряжением на отсутствие внутренних разрядов.

При изготовлении среднегабаритных радиочастотных кабелей с полувоздушной кордельно-трубчатой изоляцией диаметром от 2,95 до 11,5 мм поверх спирали корделя накладывается полиэтиленовая трубка, изготовленная на отдельных экструзионных агрегатах.

Таблица 6.7

### Размеры матриц для изготовления корделя (рис. 6.6)

Диаметр корделя $D_K$ , м	Угол конуса дорна $\alpha$	Матрица			
		Диаметр $D_M$ , мм	Длина формующей части $L_M$ , мм	Угол конуса $\gamma$	Угол конуса $\beta$
0,55—1,10	20—30°	1,25—1,5	(2—4) $D_M$ ; $10D_M^*$	3—6°	25—35°
1,10—2,70	30—45°	1,1—1,25	(2—4) $D_M$ ; $10D_M^*$	3—6°	30—60°

\* Для матрицы двухконусного типа.

Формующий инструмент, применяемый для изготовления корделя и трубки из полиэтилена, приведен на рис. 6.6 и 6.7, а его размеры — в табл. 6.7, 6.8. Для изготовления корделя применяется дорн без внутреннего отверстия (рис. 6.6,в).

Таблица 6.8

**Параметры формующего инструмента для изготовления полиэтиленовой трубки (рис. 6.7)**

Диаметр по изоляции, мм	Дорн		Матрица	
	Длина цилиндрической части $l_d$ , мм	Угол конуса $\alpha$	Длина цилиндрической части $l_m$ , мм	Угол конуса $\beta$
2,95	4—6	25—35°	2—4	30—40°
4,60	5—10	—	3—8	—
7,25—11,5	8—12	30—45°	6—10	35—50°

Для изготовления корделя применяются матрицы двух типов: с цилиндрической частью, равной (2—4)  $D_m$  (диаметра матрицы) и двухконусные матрицы (без цилиндрической части) по табл. 6.7.

Расчет диаметра формующей части матрицы  $D_m$  для изготовления полиэтиленовой трубки производят по формуле

$$D_m = (0,9 \div 1,0) \frac{D_d D_{из}}{D_{заг}}, \quad (6.2)$$

где  $D_d$  — наружный диаметр дорна, мм;  $D_{из}$  — диаметр изоляции по трубке, мм;  $D_{заг}$  — диаметр по спирали корделя, мм.

Внутренний диаметр дорна  $d_d$  выбирается в зависимости от номинального диаметра заготовки по спирали корделя  $D_{заг}$  с учетом соотношения

$$d_d = D_{заг} + \Delta,$$

где  $\Delta$  — допуск 0,2—1,20 мм.

Наружный диаметр дорна  $D_d$  выбирается в зависимости от диаметра по изоляции с учетом следующего соотношения:

$$D_d = D_{заг} + 2S,$$

где  $S$  — толщина стенки дорна, которая в зависимости от диаметра составляет 0,35—1,00 мм. Температурные режимы экструдеров при изготовлении полиэтиленовых корделя и трубки даны в табл. 6.9 и 6.10.

**Температурные режимы работы экструдера при изготовлении корделя из полиэтилена марок 178-01К, 178-02К, 178-05К, 107-01К, 107-02К, 107-05К**

Диаметр корделя $D_K$ , мм	Температура, °С			
	Цилиндр по зонам			Головка и матрица
	1-я	2-я	3-я	
0,55—1,10 1,20—2,70	110—130	140—160	160—180	190—10 180—200

Примечание. Температуры при изготовлении корделя из полиэтилена марок 102-01К, 102-02К, 102-05К, 153-01К, 153-02К, 153-05К на 10—25°С выше температур, указанных в таблице.

Для охлаждения корделя и трубки из полиэтилена применяются охлаждающие ванны с количеством зон не менее двух. Охлаждение применяется ступенчатое. Температура воды в охлаждающей ванне должна быть: для

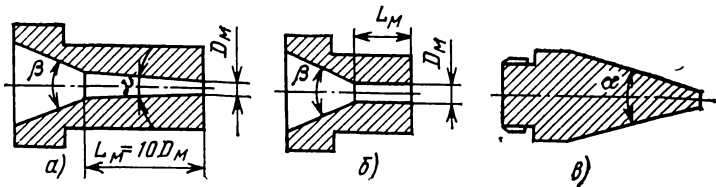


Рис. 6.6. Формующий инструмент для изготовления корделя из полиэтилена для радиочастотных кабелей.

а — матрица двухконусная с конической формующей частью; б — матрица цилиндрическая; в — дорн.

корделя: 1-я зона 50—70°С, 2-я зона — водопроводная вода; для трубки: ванна с двумя зонами — 1-я зона не менее 50°С, 2-я зона — водопроводная вода; ванна с тре-

**Температурные режимы работы экструдеров при наложении трубки из полиэтилена поверх корделя**

Диаметр по изоляции, мм	Температура, °С				
	Цилиндр по зонам			Головка	Матрица
	1-я	2-я	3-я		
2,95	110—130	120—140	140—160	160—180	160—180
4,60			140—160	140—160	150—170
7,25—11,50			150—170	160—180	160—180

мя зонами — 1-я зона не менее 50°C, 2-я зона не менее 40°C, 3-я зона — водопроводная вода.

Обдув полиэтиленовых корделя и трубки для удаления с поверхности влаги производится сжатым воздухом давлением не менее 0,2—0,3 МПа.

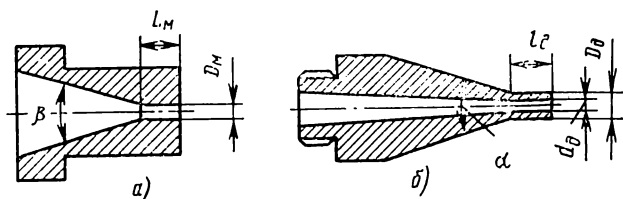


Рис. 6.7. Формующий инструмент для изготовления трубки из полиэтилена для изоляции радиочастотных кабелей.

*a* — матрица с цилиндрической частью; *б* — дорн.

Скорость изготовления корделя 40—110 м/мин, время его охлаждения 3—9 с, длина охлаждающей ванны 6—12 м и время, необходимое для охлаждения трубки из полиэтилена, 4,5—20 с.

После наложения полиэтиленовой трубки ее приваривают к корделю хотя бы в одной точке по длине витка спирали.

## 6.8. НАЛОЖЕНИЕ СПЛОШНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ФТОРОПЛАСТОВ

Сплошная изоляция для различных видов нагревостойких кабелей и проводов выполняется обычно из фторополимеров, называемых фторопластами. Фторопласт-4, обладающий наиболее высокими электроизоляционными характеристиками, не может перерабатываться методом экструзии расплава, так как даже при температуре, превышающей 370°C, его вязкость очень велика. Поэтому этот материал применяется для изоляции в виде пленок, суспензий, а также с помощью специальных способов переработки. Фторопласт-4МБ, фторопласт-40Ш, фторопласт-2М относят к так называемым плавким фторополимерам. Они при определенных температурах переходят в состояние расплава, причем несмотря на то, что вязкости их расплавов довольно высокие, эти материалы можно перерабатывать на экструзионных линиях.

В кабельной промышленности применяются следующие отечественные плавкие фторополимеры. Фторопласт-4МБ, представляющий собой сополимер этилена и гексафторпропилена, имеет при 300°C вязкость расплава  $10^3$ — $10^5$  Па·с. Температура его переработки составляет 370—390°C.

Фторопласт-4МБ-2 отличается от фторопласта-4МБ более ста-

бильными электроизоляционными характеристиками в области высоких частот и температур.

Указанные материалы применяются для изоляции и оболочки различных нагревостойких кабелей и проводов, причем фторопласт-4МБ-2 используется главным образом для радиочастотных и высоковольтных кабелей и проводов.

Порообразующий фторопласт-4МБ-2, представляющий собой композицию сополимера этилена и гексафторпропилена с небольшими количествами нитрида бора и фреона, при переработке образует пористую изоляцию, используемую для изоляции нагревостойких радиочастотных кабелей.

Фторопласт-40Ш представляет собой сополимер этилена и тетрафторэтилена. Вязкость расплава этого материала при  $295^{\circ}\text{C}$  составляет  $10^4$ — $10^6$  Па·с, а фторопласта-40ШБ— $10^4$ — $10^5$  Па·с. Температура переработки этих материалов  $300$ — $340^{\circ}\text{C}$ . Они применяются в трех кабелях и проводах,

где требуется повышенная стойкость изоляции к механическим воздействиям в сочетании с высокой радиационной стойкостью и повышенной нагревостойкостью.

Фторопласт-2 представляет собой полимер винилиденфторида, а фторопласт-2М — модифицированный фторопласт-2, обладающий меньшими жесткостью, твердостью и температурой плавления. Соответственно у этого ма-

Рис. 6.8. Схема наложения изоляции с вытяжкой (методом осаждения).

териала лучшие технологичность и холодостойкость, большее удлинение при разрыве. Фторопласт-2М используется для изоляции монтажных проводов и изготовления механически прочных оболочек. Температура его переработки составляет  $210$ — $250^{\circ}\text{C}$ .

По сравнению с такими широко распространенными термопластами, как полиэтилен и поливинилхлоридный пластикат, переработка плавких фторопластов связана с рядом особенностей. Прежде всего следует отметить, что температура переработки плавких фторопластов выше, чем температура других термопластов, и она близка к температуре разложения, что требует тщательной регулировки температуры по зонам экструдера. Для разных материалов колебания этой температуры не должны превышать  $2$ — $10^{\circ}\text{C}$ .

Следует отметить также высокую вязкость расплавов указанных плавких фторопластов. В то же время критические скорости сдвига для расплавов этих полимеров невысоки. Отмеченные факторы обуславливают необходимость применения деталей головки экструдера с плавными внутренними переходами, сглаженными углами, что облегчает прохождение расплава через эти каналы и уменьшает возможность затормаживания его слоев и разложения.

Для предотвращения возможности разрыва расплава (см. § 5.1), наблюдающегося при достижении критических скоростей сдвига, применяют экструдеры с небольшим диаметром червяка ( $25$ — $45$  мм) и небольшой частотой вращения (до  $10$ — $30$  об/мин). Кроме того, используют способ наложения изоляции с вытяжкой (рис. 6.8). Вытяжка по сечению, например, для фторопласта-4МБ может достигать до  $200:1$ . При таком способе обеспечивается высокая линейная скорость изолирования при сравнительно малых



Скоростях сдвига в расплаве полимера, выходящего из головок в виде трубки со значительно большей толщиной, чем требуемая толщина изоляции.

Трудности переработки плавких фторопластов связаны также с выделением ими при высоких температурах переработки агрессивных летучих продуктов, оказывающих вредное воздействие на оборудование, а также и на обслуживающий персонал. Выделяющиеся продукты разложения разрушают обычные стали, причем железо является, в свою очередь, катализатором разложения этих фторполимеров. По этой причине для изготовления деталей экструдера, соприкасающихся с расплавом, применяют специальные коррозионно-стойкие хромоникелевые и никель-молибденовые сплавы с небольшим содержанием железа.

При температуре фторполимеров свыше 200—250°C наблюдается выделение в незначительных количествах фтористого водорода и фторированных углеводородов. При температурах выше 300—350°C выделяются такие токсичные вещества, как перфторизобутилен, фтористый карбонил. Указанные газообразные продукты бесцветны и не имеют ощутимого запаха. При нарушении правил техники безопасности они могут вызывать у обслуживающего персонала признаки отравления (сухость в горле, недомогание, слабость). Все кабельное оборудование для переработки фторполимеров при повышенных температурах снабжается системами вентиляции для удаления газообразных продуктов разложения.

Выбор размеров и формы червяка, формирующего инструмента для экструдеров обусловлен требованиями к расплаву, отмеченными выше. Матрица применяется обычно двухконусная, углы поворота каналов выбираются равными 45°. При больших углах увеличивается давление и создаются дополнительные нежелательные нагрузки в экструдере, при меньших углах за счет увеличения поверхностей трения могут увеличиться скорости сдвига и возникнет опасность разрыва расплава. Длина матрицы составляет  $(12-20)D_{\text{нз}}$ . Если изоляция или оболочка накладывается без вытяжки, то диаметр матрицы немного превышает требуемый диаметр по изоляции или оболочке. Зазор между дорном и матрицей устанавливается 1,5—2,5 мм.

В экструдерах для переработки плавких фторопластов применяются червяки с отношением длины к диаметру до 20—25. Чаще используются червяки с короткой зоной сжатия (длина ее составляет половину шага нарезки). Дозирующая зона по длине равна 4—5 диаметрам червяка. Степень сжатия составляет 3—4. Повышенная вязкость расплава фторопластов требует более мощного (в 1,5—2 раза) привода экструдера. В современных экструдерах применяется привод постоянного тока с тиристорным управлением, обеспечивающим возможность плавного изменения частоты вращения червяка в широком диапазоне.

Ввиду высоких вязкостей расплавов и вероятности разложения при высоких температурах переработки к экструдерам для переработки плавких фторопластов предъявляются жесткие требования к стабильности температурных режимов. Цилиндр экструдера, переходный участок от цилиндра к головке и сама головка имеют индивидуальные зоны обогрева с автоматическим поддержанием заданных температур. В зоне загрузки охлаждение цилиндра водяное, а в остальных зонах — воздушное при помощи вентиляторов. Охлаждение червяка, как правило, не применяется.

При переработке плавких фторопластов недопустимо даже местное охлаждение расплава. Это может привести к резкому увеличению вязкости и торможению массы с последующим ее разложением или же к образованию в толще изоляции участков с внутренними напряжениями, которые существенно повышают склонность изоляции кабелей и проводов к растрескиванию.

По этой же причине необходим подогрев заготовки перед входом в головку экструдера. В зависимости от вида фторопласта температура заготовки выбирается в пределах от 120 до 280°C и должна жестко контролироваться и поддерживаться постоянной, так как перегрев сверх нормы приводит к разложению материала, а недостаточный нагрев — снижает стойкость к растрескиванию.

В зависимости от скорости охлаждения выходящего из головки слоя полимера получается та или иная степень его кристалличности. При медленном охлаждении степень кристалличности выше, причем большое значение имеет вид материала. Поэтому для охлаждения проводов с изоляцией из плавких фторопластов применяются разные способы охлаждения: холодную и горячую воду, а также воздушное охлаждение как наиболее медленное.

Как указывалось выше, при наложении изоляции с вытяжкой можно получить большие скорости изолирования при небольших частотах вращения червяка (10—20 об/мин). Например, при наложении изоляции из фторопласта-4МБ с вытяжкой на экструдере с червяком 32 мм при частоте вращения червяка 10—15 об/мин можно накладывать тонкостенную изоляцию с линейной скоростью до 200 м/мин. Величина вытяжки  $B$  связана с размерами формирующего инструмента и изготавливаемого провода следующим соотношением (см. рис. 6.8):

$$B = \frac{S_{\text{тр}}}{S_{\text{из}}} = \frac{D_{\text{м}}^2 - D_{\text{д}}^2}{D_{\text{из}}^2 - d_{\text{ж}}^2}, \quad (6.3)$$

где  $D_{\text{м}}$  — диаметр матрицы;  $D_{\text{д}}$  — наружный диаметр дорна;  $D_{\text{из}}$  — диаметр по изоляции;  $d_{\text{ж}}$  — диаметр токопроводящей жилы;  $S_{\text{тр}}$ ,  $S_{\text{из}}$  — поперечные сечения выпрессовываемой трубки и слоя изоляции после осаждения.

Из (6.3) видно, что, изменяя величину вытяжки  $B$ , можно при том же формирующем инструменте получать провода с разной толщиной изоляции. Однако установлено, что существуют оптимальные величины вытяжки, обеспечивающие наилучшие характеристики изолированного провода (стабильность диаметра по изоляции, электрической прочности, механических характеристик и др.). Так, для фторопласта-4МБ оптимальное значение вытяжки  $B$  составляет 50. Расплав должен быть вытянут до нужного диаметра по изоляции на расстоянии 10—30 мм от конца матрицы (см. рис. 6.8).

С учетом температурной усадки при охлаждении наложенного с вытяжкой слоя изоляции из фторопласта-4МБ диаметр матрицы определяют с помощью следующего соотношения:

$$D_{\text{м}} = 1,15 \frac{D_{\text{из}} D_{\text{д}}}{d_{\text{ж}}}. \quad (6.4)$$

Длина цилиндрической части матрицы принимается равной  $20D_{\text{из}}$ . Угол нарезки червяка равен 20°. Температурные режимы переработки плавких фторопластов приведены в табл. 6.11.

**Температурные режимы в экструдере при переработке  
плавких фторопластов**

Материал	Температура, °С				
	Цилиндр по зонам			Головка	Матрица
	1-я	2-я	3-я		
Фторопласт-4МБ	260—310	280—320	320—340	340—380	330—370
Фторопласт-40Ш	260—280	280—310	330—340	340—350	310—330
Фторопласт-2М	180—210	220—240	250—270	270—290	260—270

## 6.9. НАЛОЖЕНИЕ И ВУЛКАНИЗАЦИЯ РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Производство изолированных резиной токопроводящих жил кабелей, проводов и шнуров является в технологическом отношении более сложным процессом, чем производство жил с изоляцией из полиэтилена или поливинилхлоридного пластиката. Это объясняется тем, что полученный после наложения в экструдере слой резины необходимо подвергнуть вулканизации, в результате которой невулканизованная пластичная резиновая смесь за счет образования сшитой структуры приобретет эластические свойства.

Вулканизацию проводят или отдельно с наложением изоляции, или одновременно. В первом случае после наложения слоя резиновой изоляции его охлаждают в ванне с холодной водой и кабельное изделие или полуфабрикат принимают на барабаны или специальные тарелки с тальком с соблюдением мер, исключающих взаимную деформацию витков с мягкой невулканизованной изоляцией. Принципиальная схема экструзионной линии, использующейся при раздельном наложении и вулканизации резиновой изоляции или оболочки, приведена на рис. 6.9.

После наложения изоляции или оболочки осуществляется процесс вулканизации в специальных вулканизационных котлах горизонтального или вертикального типа. В первых проводится процесс вулканизации кабелей или проводов, намотанных на барабаны, во вторых — кабелей или проводов, уложенных на специальные тарелки. Последний способ применяется для изготовления крупногабаритных кабелей или проводов, имеющих значительную массу на единицу длины.

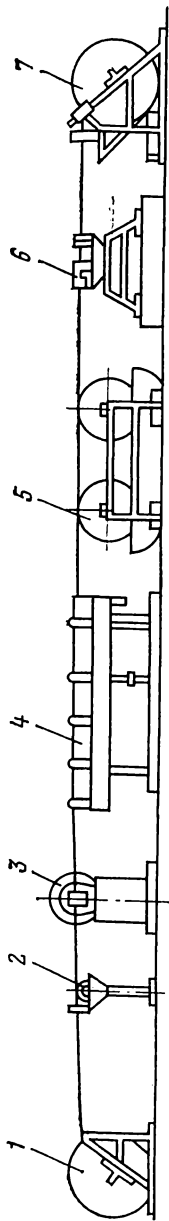


Рис. 6.9. Схема экструзионной линии для наложения резиновой изоляции.  
 1 — отдающий барабан; 2 — счетчик длины; 3 — экструдер; 4 — охлаждающая ванна; 5 — тяговое устройство; 6 — вулканизирующее устройство; 7 — приемный барабан.

Следует отметить, что если раньше отдельные изолирование и вулканизация широко применялись на кабельных заводах, то в настоящее время наиболее широко используется совмещенный способ наложения и вулканизации резиновой изоляции или оболочки на кабельных линиях непрерывной вулканизации (ЛКНВ). Схема ЛКНВ представлена на рис. 6.10. Для вулканизации слоя резины, наложенной в экструдере этой линии, используется теплоноситель — насыщенный водяной пар, находящийся при высоком (1,3—2,0 МПа) давлении в длинной вулканизационной камере. Повышенная температура пара (190—210°C) и большая длина вулканизационной и охлаждающих камер позволяют допускать большие скорости прохождения изолированной токопроводящей жилы через узлы линии. Применение ЛКНВ, кроме повышения производительности, обеспечивает значительную экономию за счет сокращения производственных площадей, количества применяемого оборудования, количества операций и межоперационных транспортировок, численности рабочего персонала и др.

Одной из основных технологических характеристик резин является так называемое плато вулканизации. Если построить зависимость какой-либо механической характеристики резины, например прочности при разрыве  $\sigma_r$ , от времени выдержки  $\tau$  при температуре вулканизации, то получим

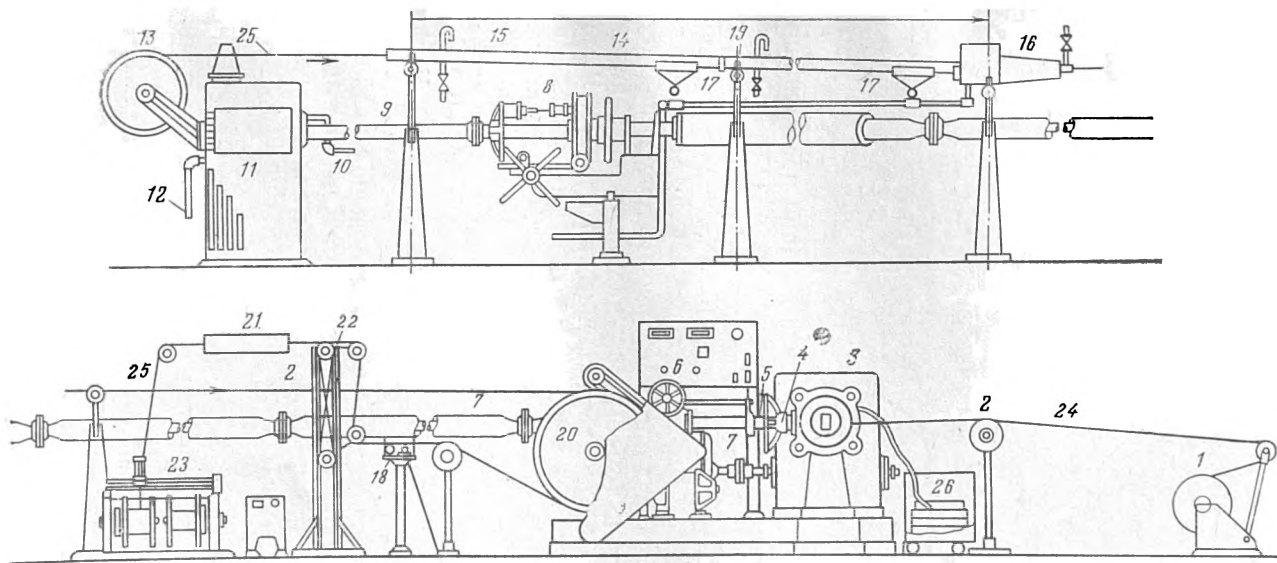


Рис. 6.10. Кабельная линия непрерывной вулканизации.

1 — отдающее устройство с натяжным роликом; 2 — направляющий ролик; 3 — экструдер; 4 — маховик накидной гайки входного затвора; 5 — телескопический входной затвор; 6 — щит контрольно-измерительных приборов; 7 — вулканизационная камера; 8 — промежуточный затвор; 9 — охлаждающая камера; 10 — труба для подачи охлаждающей воды; 11 — водяной (выходной) затвор; 12 — патрубок для слива воды; 13 — поворотный ролик; 14 — охлаждающий желоб; 15 — кран для подачи охлаждающей воды; 16 — приспособление для обдува изолированной жилы; 17 — воронка сливная; 18 — измеритель диаметра; 19 — опорные ролики; 20 — тяговое устройство; 21 — аппарат сухого испытания; 22 — компенсатор; 23 — приемник на два барабана; 24 — токопроводящая жила; 25 — изолированная жила; 26 — лента резиновой смеси.

характерный ход этой зависимости (рис. 6.11). По мере протекания процесса вулканизации (участок до точки *A*) наблюдается увеличение механической прочности, что связано с образованием сшитой структуры. Затем в течение некоторого времени свойства резины существенно не меняются, что указывает на то, что процесс вулканизации в основном завершен. При дальнейшей выдержке при температуре вулканизации наблюдается ухудшение механических показателей (участок после

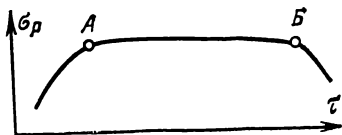


Рис. 6.11. Характерная зависимость прочности при растяжении резиновых смесей от времени выдержки при температуре вулканизации.

точки *B*). Это происходит из-за явления перевулканизации, выражающейся в деструкции материала под действием высоких температур. Участок *AB* называют плато вулканизации. У разных видов резин приведенная выше зависимость имеет различный вид; различно также плато вулканизации. Чем меньше время, соответствующее точке *A*, тем быстрее наступает вулканизация, тем производительнее технологический процесс. Чем шире участок *AB*, тем менее вероятно, что резина будет перевулканизована. Опасность перевулканизации связана с тем, что при нагревании слоя изоляции в вулканизационной камере наружные слои практически мгновенно приобретают температуру пара (около  $200^{\circ}\text{C}$ ), а внутренние слои прогреваются значительно дольше. Указанное различие в нагреве особенно проявляется при вулканизации изоляции или оболочки большой радиальной толщины. Поэтому плато вулканизации должно быть таким, чтобы за время, необходимое для полной вулканизации внутренних слоев, наружные слои не успели перевулканизоваться.

В табл. 6.12 приведены некоторые марки резин, применяемых для переработки на ЛКНВ, а также данные, характеризующие процесс их вулканизации.

На ЛКНВ практически могут перерабатываться резины, которые вулканизируются при  $143^{\circ}\text{C}$  за время, не превышающее 10—30 мин (или за 20—40 с при  $200^{\circ}\text{C}$ ). При отдельной технологии наложения слоя резины и вулканизации могут использоваться резины со време-

Параметры, характеризующие плато вулканизации  
некоторых типов резины

Тип резины	Марка резиновой смеси	Температура вулканизации, °С	Оптимальное время вулканизации, с	Максимально допустимое время вулканизации, мин	Температурный коэффициент скорости вулканизации
Изоляционные:					
РТИ-1	ТСШ-35А	173	60	50	2
ВРТИ-2	ТСШ-30А	173	90	50	2
Шланговые:					
РШ-1	ШВП-50	173	90	120	2
РШ-2	ШБМ-40А	173	100	150	2
РШН-1	ШН-50	173	90	200	2
РШН-2	ШН-40	173	90	200	2

нем вулканизации при 143°C (обычная температура в вулканизационном котле при давлении пара 0,3 МПа) до 2 ч.

Использование ЛКНВ основывается на свойстве резиновых смесей существенно быстрее вулканизоваться при увеличении температуры вулканизации. Установлено, что скорость протекания процесса вулканизации растет значительно быстрее, чем происходит рост температуры. Если для вулканизации резины определенной марки при температуре  $t_1$  требуется время  $\tau_1$ , то для получения той же степени вулканизации этой резины при температуре  $t_2$  необходимо время  $\tau_2$ , которое определяется из следующего соотношения:

$$\tau_1/\tau_2 = K^{0,1(t_2-t_1)}, \quad (6.5)$$

где  $K$  — температурный коэффициент скорости вулканизации, для разных резин лежащий в пределах 1,5—2.

Из выражения (6.5) видно, что при  $K=2$  повышение температуры на 10°C ведет к уменьшению времени, необходимого для вулканизации, в 2 раза. Процесс вулканизации начинает происходить в резиновой смеси при температуре, превышающей 120—130°C. Для более быстрой вулканизации в соответствии с (6.5) требуется повышать температуру среды, в которой происходит вулканизация.

В качестве теплоносительной среды для проведения вулканизации резин при производстве кабелей и проводов применяется насыщенный водяной пар. Применение его имеет ряд преимуществ по сравнению с другими теплоносителями: простота получения и удобство транспортировки, большое теплосодержание, технологическая чистота, наличие однозначной связи между значениями давления и температуры (рис. 6.12), что позволяет сравнительно легкими способами

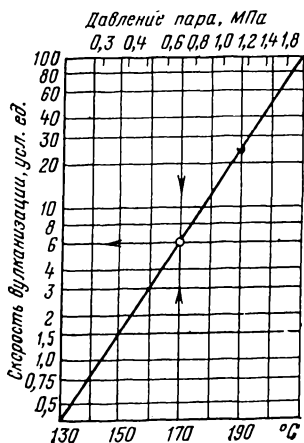


Рис. 6.12. Зависимость скорости вулканизации резиновых изоляций и оболочки от температуры насыщенного пара.

контролировать и поддерживать (измеряя и изменяя давление) заданную температуру вулканизации. Повышенное давление пара в вулканизационной камере способствует повышению качества изоляции, препятствуя образованию вздутий и пористости, которые могут произойти в процессе вулканизации и последующего охлаждения. Давление пара в вулканизационной камере ЛКНВ различно для разных резиновых смесей и зависит главным образом от вида каучука, входящего в состав смеси. Для резиновых смесей, содержащих натуральный, изопреновый или бутиловый каучук, давление пара составляет 1,5—1,6 МПа, что соответствует 200—203°C, для резиновых смесей на основе бутадиеновых, бутадиен-стирольных и бутадиен-нитрильных каучуков — 1,9—2,0 МПа (211—213°C), для резин на основе полихлоропренового каучука (наирита) давление в зависимости от марки резины равно: 1,7—1,8 МПа (206—209°C) для ШН-40, 1,2—1,3 МПа (191—194°C) для ШН-50.

Длина вулканизационных камер ЛКНВ достигает 100 м. На таком большом участке за счет естественного прогиба изолируемой жилы на поверхности изоляции (или оболочки) могут возникать поверхностные повреждения за счет трения о стенки камеры. Чем больше масса единицы длины кабеля или провода, тем вероятнее образование таких дефектов. Поэтому на ЛКНВ, имею-



щих вулканизационную камеру, расположенную горизонтально, изолируются токопроводящие жилы с предельным сечением, равным  $150 \text{ мм}^2$ , что соответствует массе изолированной жилы около  $1700 \text{ кг/км}$ . Аналогичное ограничение принято для наложения резиновых оболочек на кабели, предельный наружный диаметр которых не должен превышать  $32 \text{ мм}$  (масса  $1 \text{ км}$  около  $1800 \text{ кг}$ ).

Для кабелей или проводов более крупных размеров применяются наклонные (НЛКНВ) или вертикальные (ВЛКНВ) кабельные линии непрерывной вулканизации. Схемы расположения основных узлов ЛКНВ, НЛКНВ и ВЛКНВ представлены на рис. 6.13.

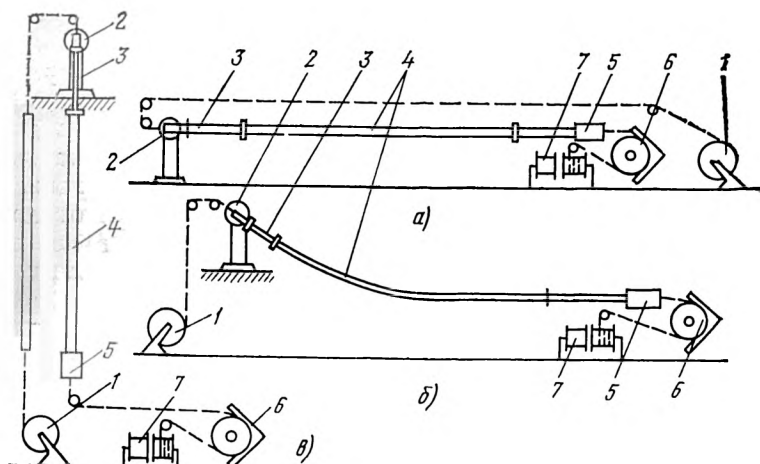


Рис. 6.13. Схема расположения основных узлов ЛКНВ (а), НЛКНВ (б) и ВЛКНВ (в).

1 — отдающий барабан; 2 — экструдер; 3 — входной затвор; 4 — вулканизационная камера; 5 — выходной затвор; 6 — тяговое устройство; 7 — приемное устройство.

На линиях непрерывной вулканизации наложение изоляции совмещено с вулканизацией на проход в длинной вулканизационной трубе (камере), которая герметично соединена с головкой экструдера. Изолированная резиной токопроводящая жила попадает из экструдера в атмосферу теплоносителя — насыщенного водяного пара и за счет полученного тепла осуществляется вулканизация резиновой смеси, которая должна проте-

кать за время, соответствующее плато вулканизации. Чем длиннее вулканизационная камера, тем большую скорость прохождения жилы через нее можно допустить при обеспечении нужной степени вулканизации.

В состав ЛКНВ обычно входят: отдающее устройство; горизонтальный накопитель для непрерывной работы линии при переходе с одной заготовки на другую; тормозное устройство; устройства для подогрева, полутотжига и отжига токопроводящей жилы сечением до 50 мм<sup>2</sup>; экструдер; заправочная камера; вулканизационная камера с концевым затвором и камера концевого затвора, обеспечивающая давление пара, равное давлению воды, или вулканизационная камера с паровым затвором; охлаждающая камера с концевым затвором; насосная станция; ванна открытого охлаждения; обдувочное устройство; тяговое устройство; талькирующее устройство; компенсатор приемного устройства; приемное устройство.

Основными элементами ЛКНВ, определяющими ее производительность, являются экструдер и вулканизационная камера. От параметров экструдера зависит скорость наложения изоляции или оболочки, а от длины вулканизационной камеры и температуры в ней зависит скорость процесса вулканизации, что в конечном итоге определяет производительность процесса.

Экструдеры для наложения резиновой изоляции или оболочки по конструкции похожи на экструдеры для переработки пластмасс. О некоторых отличиях в их параметрах говорилось выше (см. § 5.4). Отметим также, что наиболее распространены в экструдерах для переработки резин двухзаходные червяки (для больших экструдеров могут применяться четырехзаходные). Червяки выполняют полыми, в них вставляются со стороны хвостовой части трубки, по которым подается вода для охлаждения.

Наиболее часто применяются в экструдерах ЛКНВ прямоугольные головки (см. рис. 5.20,а). Внутренние полости в головке имеют возможно меньший объем и плавные переходы. Это необходимо для предотвращения задержки потока резиновой смеси и ее перегрева и преждевременной вулканизации. Перед матрицей в головке помещают специальное кольцо, имеющее разные отверстия для прохода резиновой смеси. Так как поток в прямоугольной головке, переходя из цилиндра в мат-

рицу, испытывает поворот на  $90^\circ$ , то необходимо выровнять давление в матрице, которое может быть неравномерным из-за прохождения разными частями потока разных по длине путей при повороте. Выравнивание давления достигается тем, что меньшие отверстия в кольце (т. е. большее сопротивление потоку) располагаются на пути тех участков потока смеси, которые проходят меньший путь. Этим обеспечивается лучшая concentричность накладываемого слоя резины. Устройство головки в экструдерах ЛКНВ таково, что имеется воз-

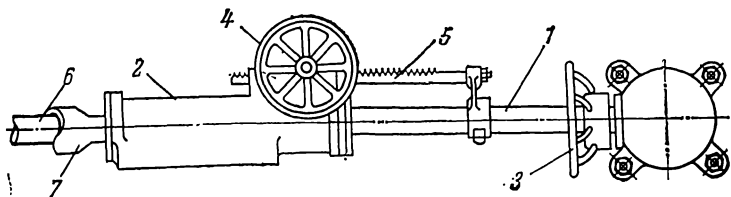


Рис. 6.14. Входной затвор АНВ (заправочная камера).

1 — подвижная телескопическая труба; 2 — цилиндр заправочной камеры; 3 — штурвал запирающего механизма; 4 — маховичок с шестеренкой; 5 — зубчатая рейка; 6 — вулканизационная камера; 7 — паровая рубашка.

можность смещать относительно друг друга дорн и матрицу в плоскости, перпендикулярной их осям. Для этого служат специальные регулировочные болты. Это дает возможность регулировать concentричность накладываемого слоя резиновой смеси.

Заправочная камера (рис. 6.14) служит для герметичного соединения головки экструдера с вулканизационной камерой. Она представляет собой цилиндр, внутри которого расположена выдвижная телескопическая труба. С одной стороны труба может плотно соединяться с головкой экструдера, а с другой — в месте входа в цилиндр — имеется специальное уплотнение. Наличие такой подвижной трубы позволяет с помощью специального устройства (зубчатая рейка со штурвалом) открывать заправочную камеру при неработающем экструдере и осуществлять заправку ЛКНВ.

Вулканизационная камера представляет собой длинную трубу, состоящую из нескольких звеньев — высокопрочных стальных труб диаметром 75—250 мм. Одним концом вулканизационная камера соединяется с заправочной камерой, другим через паровой (промежуточный) затвор — с охлаждающей камерой. К входу

вулканизационной камеры подводится труба с подаваемым насыщенным паром для нагрева слоя резины и его вулканизации, на выходе камеры имеется отводная труба для удаления воды (конденсата), образовавшейся при отдаче тепла паром изоляции или оболочке. Коэффициент теплоотдачи от насыщенного пара к изоляции примерно в 1,5 раза выше, чем от горячей воды. Поэтому необходимо удалять из камеры образующийся конденсат. Для этой цели камера имеет уклон (0,3—0,5 см на 1 м длины) для стока конденсата.

Для лучшей теплоизоляции вулканизационной камеры, предотвращающей увеличение расхода пара и снижение скорости вулканизации из-за уменьшения температуры, используются паровые рубашки или индукционный обогрев трубы. Паровая рубашка образуется за счет размещения поверх вулканизационной камеры теплоизолированных труб большего диаметра. В промежутки между этими трубами подается пар обычно того же давления, что и в вулканизационную камеру. При индукционном нагреве на вулканизационную трубу накладывается теплоизоляция и обмотка из провода с нагревостойкой изоляцией. Обмотка разбита по длине трубы на несколько секций, подключенных к сети самостоятельно. По обмотке пропускается переменный ток, создающий в толще трубы переменное магнитное поле. За счет потерь на вихревые токи и перемагничивание стальная труба нагревается. Температура нагрева контролируется и регулируется автоматически путем отключения или подключения данной секции к сети при отклонении температуры от заданного значения.

Так как при нагреве вулканизационная камера значительно удлиняется, то она неподвижно прикреплена лишь с одной стороны — к станине заправочной камеры. На остальных опорах камера лежит свободно на катках.

Паровой затвор (рис. 6.15) обеспечивает, с одной стороны, свободное прохождение изолированного провода или жилы кабеля из вулканизационной камеры в охлаждающую, с другой — предотвращает выход из вулканизационной камеры пара, находящегося под высоким давлением. Это осуществляется путем применения ряда резиновых и стальных эластичных прокладок, имеющих отверстия для прохождения кабеля или провода. При закрывании затвора нажимным устройством

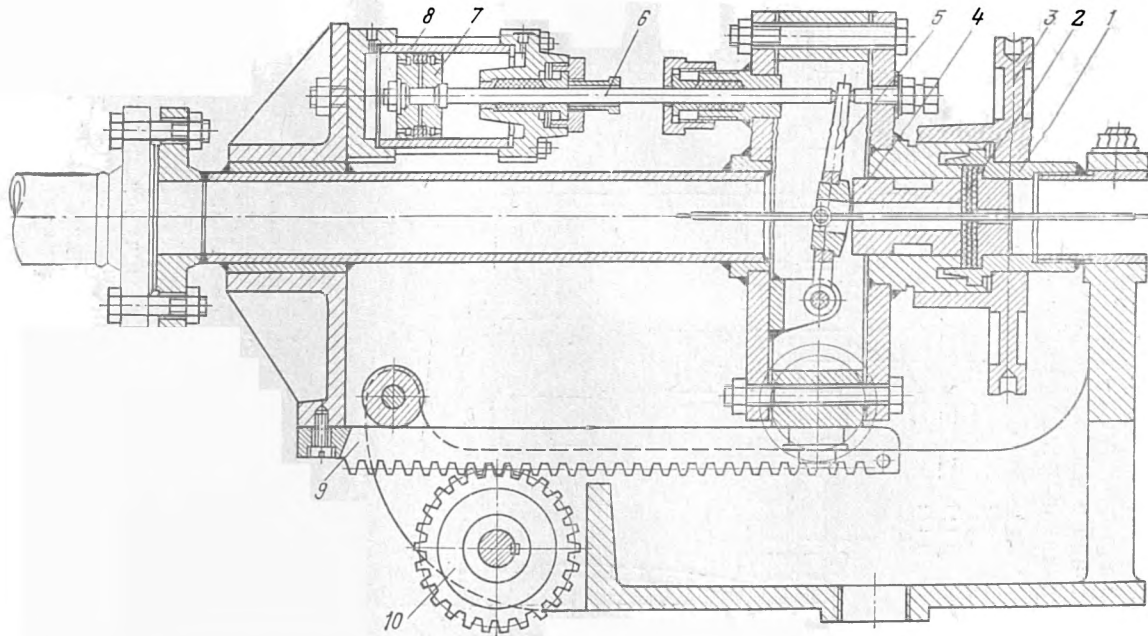


Рис. 6.15. Промежуточный паровой затвор.

1 — концевая втулка с заплеками для штурвала; 2 — резиновая прокладка; 3 — штурвал для соединения вулканизационной камеры с затвором; 4 — нажимная втулка; 5 — рычаг давления на нажимную втулку; 6 — шток пневматического цилиндра; 7 — поршень цилиндра; 8 — пневматический цилиндр; 9 — зубчатая рейка; 10 — шестерня для открывания затвора.

создается продольное усилие и сжимаются резиновые прокладки, плотно обжимающие проходящую через затвор изолированную жилу.

Охлаждающее устройство представляет собой трубу длиной в несколько метров и того же диаметра, что и вулканизационная камера. Один конец ее сое-

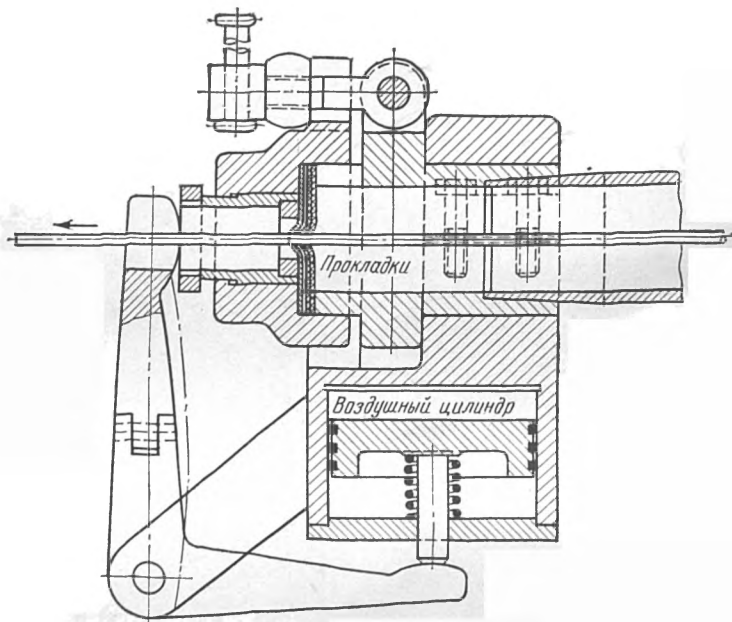


Рис. 6.16. Концевой затвор.

динен с подвижной частью парового затвора, другой — с концевым водяным затвором (рис. 6.16). Давление воды в охлаждающей камере при наличии парового затвора поддерживается не менее 0,8 МПа. Это необходимо во избежание большого перепада давления между внутренними и наружными слоями изолированной жилы. В противном случае воздух, находящийся в промежутках между отдельными проволоками гибких жил или между жилой и изоляцией под высоким давлением (до 2 МПа), может выйти наружу при переходе из вулканизационной камеры в охлаждающую и резком снижении давления. В результате могут образоваться воздушные прорывы или пористость изоляции.

В некоторых случаях в ЛКНВ применяются охлаждающие устройства с холодной водой, находящейся под тем же давлением, что и пар в вулканизационной камере. В конце охлаждающей камеры размещен концевой водяной затвор, устройство которого сходно с паровым затвором.

В ряде ЛКНВ для дополнительного охлаждения имеется открытый желоб с проточной водой. При наложении резиновой изоляции для удаления остатков воды с поверхности применяют обдувочное устройство. В нем струя воздуха давлением до 0,4 МПа направлена навстречу изолированной жиле.

Тяговое устройство ЛКНВ должно обеспечивать большие усилия для протягивания кабеля или провода через все узлы линии. Тяговые устройства бывают колесного и гусеничного типов. Для увеличения силы трения между поверхностями тягового колеса и изолированной жилы или оболочки и для уменьшения возможности проскальзывания применяют не одно, а два колеса, причем изолированная жила огибает их несколько раз. Применяются также колеса с трапециевидным желобом, в который уложен провод или кабель для увеличения поверхности трения, и с клиновидным по форме желоба ремнем, прижимающим их к желобу. Для кабелей большого диаметра применяются тяговые механизмы гусеничного типа (см. § 1.6).

Натяжной механизм устанавливается перед экструдером и служит для поддержания постоянного натяжения кабеля или провода в вулканизационной камере. Это натяжение должно поддерживаться постоянным и согласованным с натяжением тягового механизма. Натяжные механизмы также бывают колесного и гусеничного типов.

Отдающее и приемное устройства должны обеспечивать непрерывную работу ЛКНВ без остановок на заправку и съем продукции, а также равномерность схода заготовки с отдающего устройства и приема кабеля или провода на приемное устройство. Токопроводящие жилы поступают на ЛКНВ в бухтах, контейнерах или на барабанах. Заготовки для наложения оболочек поступают на барабанах. Бухты или контейнеры устанавливаются вблизи экструдера, конец жилы одного контейнера или бухты заранее сваривается с началом жилы другого контейнера. Жилы, поступающие на ме-

галлических барабанах, устанавливаются в сдвоенное безынерционное отдающее устройство. Применяются также сдвоенные отдающие устройства с устройством для торможения барабанов. Приемные устройства выполняются сдвоенными, причем процесс намотки, перевода изолированной жилы с заполненного на свободный барабан и разрезка жилы осуществляются обычно автоматически.

В зависимости от типа ЛКНВ те или иные перечисленные элементы могут не входить в состав линии. Например, тормозное устройство применяется на таких линиях с экструдерами большого диаметра червяка, как ЛКНВ-160, ЛКНВ-200 и ЛКНВ-250.

Перечень и основные характеристики ЛКНВ даны в табл. 6.13. Формующий инструмент (дорн, матрица) для экструдеров ЛКНВ изготавливается из материалов с

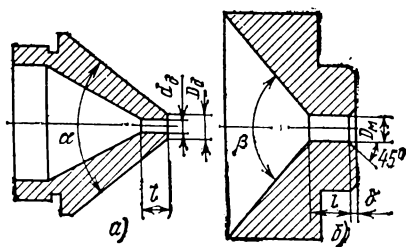


Рис. 6.17. Формующий инструмент для наложения резиновой изоляции и оболочки на ЛКНВ.

а — дорн; б — матрица.

термообработанной поверхностью при нормированных твердости и параметре шероховатости. Дорны для изолирования токопроводящих жил сечением до  $2,5 \text{ мм}^2$  изготавливаются с твердосплавными вставками. Выбор формующего инструмента для экструдеров ЛКНВ производится в соответствии с рис. 6.17 и табл. 6.14 и 6.15.

Температурные режимы работы экструдеров при наложении изоляции или оболочки из резин разных типов приведены в табл. 6.16. Рабочие давления, а следовательно, и температуры насыщенного пара, в среде которого производится в вулканизационной камере вулканизация резиновой изоляции или оболочек, приведены в табл. 6.17.

Режимы технологического процесса наложения резиновой изоляции на жилы приведены в табл. 6.18, а резиновой оболочки — в табл. 6.19.

Во время работы ЛКНВ осуществляется контроль температуры цилиндра и головки экструдера, давления



в вулканизационной камере, в ее рубашке, в охлаждающей камере, линейной скорости наложения изоляции или оболочки, длины изолированной жилы, электрической прочности изоляции на проход.

Проверка конструктивных размеров элементов кабеля, толщин изоляции, оболочки, наружных диаметров производится в соответствии с существующими нормами. Качество поверхности оболочек проверяется визуально. При этом на ней не должно быть проминов, вмятин, наплывов, выводящих толщину оболочки за предельные отклонения.

Таблица 6.13

Линии непрерывной вулканизации для наложения резиновых изоляции и оболочек и их основные характеристики

Характеристика	ЛКНВ-63	ЛКНВ-125ИШ	ЛКНВ-160Г	ЛКНВ-160Н
Отношение рабочей длины червяка к его диаметру	10	12	12	12
Тип червяка	Двухзаходный с уменьшающейся нарезки (компрессия 1,7—2,0)			глубиной
Частота вращения червяка, об/мин	10—100	6,5—65	5—55	5—55
Число одновременно изолируемых жил	1	1 или 2	1	1
Длина вулканизационной трубы, м	54—60	72—102	72—102	65
Расположение вулканизационной трубы	Горизонтальное			Наклонное
Давление пара в трубе, МПа	До 2,0	До 2,0	До 2,0	До 2,0
Длина охлаждающей трубы, м	1,0	2,0	2,0	2,5
Давление воды в трубе, МПа	0,8—1,0	До 2,0	До 2,0	До 2,0
Длина ванны открытого охлаждения, м	10	20	20	30
Сечение изолируемых жил, мм <sup>2</sup> , при работе:				
в 1 ручей	0,35—1,0	0,75—35	35—150	95—500
в 2 ручья	—	0,75—4,0	—	—
Наружный диаметр изоляции или оболочки, мм	1,7—3,4	2,2—21	12—35	16—70
Линейная скорость, м/мин	75—300	15—300	5—75	3—50
Число отдатчиков и приемников	1 двоярный	2 одинарных + 2 двоярных		

Таблица 6.14

**Характеристика дорна для наложения резиновой изоляции и оболочки (рис. 6.17, а)**

Диаметр жилы или заготовки $d$ , мм	Угол конуса дорна $\alpha$	Диаметр отверстия дорна $d'_d$ , мм	Длина цилиндрической части дорна $l$ , мм	Наружный диаметр торцевой части дорна $D'_d$ , мм
-------------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	---	---

*Наложение изоляции*

До 2	55—60°	1,09 $d$	4—6	1,3 $d_d$
2—4	55—60	1,08 $d$	4—6	1,3 $d_d$
4—6	50—60	1,08 $d$	4—6	1,25 $d_d$
6—10	50—60	1,07 $d$	5—8	1,20 $d_d$
10—14	45—55	1,05 $d$	6—9	1,14 $d_d$
14—20	45—55	1,05 $d$	7—10	1,10 $d_d$
20 и выше	35—50	1,04 $d$	9—12	1,06 $d_d$

*Наложение оболочки*

До 8	50—60	1,06 $d$	4—6	1,13 $d_d$
8—10	50—60	1,05 $d$	5—8	1,12 $d_d$
10—15	45—55	1,04 $d$	6—9	1,11 $d_d$
15—20	40—55	1,035 $d$	7—10	1,10 $d_d$
20—30	35—50	1,03 $d$	7—10	1,07 $d_d$
30 и выше	30—40	1,025 $d$	9—12	1,05 $d_d$

Таблица 6.15

**Характеристика матрицы для наложения резиновой изоляции и оболочки (рис. 6.17, б)**

Диаметр изделия по изоляции или оболочке $d_{из}$ , мм	Угол конуса матрицы $\beta$	Диаметр отверстия матрицы $D_M$ , мм	Длина формующей части матрицы $l$ , мм, не менее	Глубина фаски $\delta$ , мм
--	-----------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------

*Наложение изоляции*

До 7	65—75°	0,99 $d_{из}$	3—4	0,25 $D_M$
8—19	70—85	0,99 $d_{из}$	5—6	0,12 $D_M$
20 и выше	75—90	0,99 $d_{из}$	6—7	0,07 $D_M$

*Наложение оболочки*

До 15	70—85	0,99 $d_{об}$	3—4	0,12 $D_M$
16—29	70—90	0,99 $d_{об}$	5—6	0,07 $D_M$
30 и выше	75—90	0,99 $d_{об}$	6—7	0,04 $D_M$

## Температурные режимы работы экструдеров

Тип резины	Температура, °С		
	Цилиндр по зонам		Головка
	1-я	2-я	
РТИ-1	55—60	75—80	80—90
РТИ-2	40—45	60—65	65—75
РТИШ (М)	50—55	70—75	70—80
РШ-1	50—55	70—75	75—85
РШ-2	45—50	50—65	70—75
РШН-1	40—45	60—65	65—75
РШН-2	30—35	50—55	55—65
РШМ-2	45—50	65—70	70—80
РШТМ-2	45—50	65—70	70—80
РЭ-2, РЭМ-2	30—35	30—35	—

Таблица 6.17

## Режимы вулканизации резиновых изоляций и оболочек на ЛКНВ

Тип резины	Давление пара, МПа	Температура, °С
РТИ-1, РТИ-2	1,5—1,6	200—203
РТИШ (М)		
РШ-1, РШ-2	1,5—1,6	200—203
РШН-1	1,2—1,3	191—194
РШН-2	1,7—1,8	206—209
РШМ-2, РШТМ-2	1,9—2	211—213

Таблица 6.18

## Режимы технологического процесса наложения резиновой изоляции на жилы (давление пара 1,5—1,6 МПа)

Номинальное сечение жил, мм <sup>2</sup>	Номинальная толщина, мм	Тип линии непрерывной вулканизации	Длина вулканизационной камеры, м	Линейная скорость, м/мин
0,35	0,6	ЛКНВ-63; АНВ-85	60	180—200
0,50	0,6 0,8	АНВ-90; АНВ-115	60	200—220 220—240
0,75—1,5	0,6 1,0	ЛКНВ-125ИШ ЛКНВ-125;	75	280—300 230—250
2,5	0,8 1,0 1,8	АНВ-115		190—210 160—180 100—120

Номинальное сечение жил, мм <sup>2</sup>	Номинальная толщина, мм	Тип линии непрерывной вулканизации	Длина вулканизационной камеры, м	Линейная скорость, м/мин	
4,0	0,8 1,0 1,8	ЛКНВ-125ИШ; ЛКНВ-125; АНВ-115	75	160—180	
6,0	0,8 1,0 1,8			130—150	
	1,0 1,2			80—100	
	2,0			150—160	
10	1,0 1,2			120—130	
	2,0			80—90	
16	1,0 1,2 2,0	*ЛКНВ-125ИШ; АНВ-115; АНВ-125; АНВ-150; АНВ-160; ЛКНВ-160Г	75	110—120	
25	1,2 1,4 2,2			90—100	
				50—60	
				75—85	
35	1,2 1,4 2,2	ЛКНВ-125ИШ; АНВ-115; АНВ-125; АНВ-150	75	70—85	
				40—50	
				60—70	
50	1,4 1,6 2,4	АНВ-160; ЛКНВ-160Г	75	55—60	
	70			1,4 1,6 2,4	33—38
95				1,6 1,8 2,6	45—50
				120	1,8 2,6
150	2,0 2,8				ЛКНВ-160Н; АНВ-250; АНВ-150; АНВ-160
	185			3,0 3,2	
240				2,4 3,2	
	300			2,6 3,4	
400				3,4 3,6	
	500			3,0 3,8	
			20—23		
		24—27			
		18—21			
		19—22			
		14—17			
		14—17			
		10—12			
		12—15			
		9—11			
		10—12			
		9—10			
		10—11			
		8—9			
		8—9			
		7—8			

## Режимы технологического процесса наложения резиновой оболочки

Диаметр кабеля или провода под оболочкой, мм	Номинальная толщина оболочки, мм	Тип линии непрерывной вулканизации	Длина вулканизационной камеры, мм	Линейная скорость, м/мин			
				РШ-1	РШ-2, РШТ-2	РШ-1 <sub>1</sub>	РШ-2
До 6	1,0	ЛКНВ-125ИШ;	75	—	105—115	—	95—105
	1,5	ЛКНВ-115;	75	—	90—100	—	80—90
	2,0	ЛКНВ-125	75	—	100	—	60—70
6—10	1,0	ЛКНВ-125	75	—	85—95	—	75—85
	1,7		75	—	50—60	—	45—55
	2,5		75	—	50—60	—	30—35
10—15	1,2	ЛКНВ-125ИШ;	75	40—50	55—65	35—45	45—55
	2,0	АНВ-115		30—40	35—40	25—30	30—35
	2,5			22—27	25—30	20—23	22—27
15—20	2,0	ЛКНВ-160Г;	75	20—25	30—35	18—21	25—30
	3,0	АНВ-150		15—20	18—23	15—18	16—21
20—25	2,5	ЛКНВ-160Г;	75	15—18	17—22	14—17	15—20
	3,0	АНВ-150;		15—18	17—22	14—17	17—20
	3,5	АНВ-160		11—14	12—17	10—13	12—15
25—30	3,0	ЛКНВ-160Н;	65	9—12	12—15	9—12	10—13
	4,5	АНВ-150; АНВ-160		6—9	9—12	6—9	8—10
30—40	3,0	ЛКНВ-160Н;	65	—	—	8—11	8—11
	3,5	АНВ-250;		—	—	—	6—9
	5,0	АНВ-150; АНВ-160		—	—	5—7	5—7
40—50	4,0	ЛКНВ-160Н;	65	5,5—6,5	6—7	5,5—6,5	5,5—6,5
	4,5	АНВ-250;		5,5—6,5	6—7	5,5—6,5	5—6
	5,0	АНВ-160		4—5	5—6	4—5	4,5—5,5
50—60	4,5	ЛКНВ-160Н;	65	4—5	5—6	4—5	3,5—4,5
		АНВ-250;		3—4	4—5	3—4	
		АНВ-150; АНВ-160					
60—70	3,0	АНВ-150×90	40	2,5—3	4—5	—	—
70—80	3,0	АНВ 150×90;	40	2,5—3	3,5—4,0	—	—
	5,0	АНВ-250	40	2—2,5	—	—	—
80—90	3,0	АНВ-150×90;	40	1,5—2	3—3,5	—	—
	5,0	АНВ-250	40	1,5—2	3—3,5	—	—

Примечание. Во всех случаях давление пара зависит только от марки резины, а именно 1,5—1,6 МПа для РШ-1; 1,9—2 МПа для РШ-2, РШТ-2 и РШТМ-2; 1,3—1,3 МПа для РШН-1 и 1,7—1,8 МПа для РШН-2.

## ЭМАЛИРОВАНИЕ

### 7.1. АГРЕГАТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

#### 7.1.1. Агрегаты для производства проводов диаметром 0,015—0,09 мм

Для производства эмалированных проводов используются агрегаты, состоящие из отдающего и приемного устройств, печи отжига, лаковой ванны с устройствами для нанесения лака на проволоку, эмаль-печи с системой вентиляции, устройства для каталитического сжигания отходящих газов и пульта управления с приборами автоматического контроля и поддержания заданной температуры эмалирования. Агрегаты для эмалирования проволоки могут иметь как горизонтальное, так и вертикальное расположение печей для термообработки лака на проволоке.

Отечественные кабельные заводы оснащены как эмаль-агрегатами старой серии, изготовленными в 50—60-х годах, так и современным высокопроизводительным оборудованием, изготовляемым фирмами ВНР, Италии, Австрии.

Удобнее рассматривать основные типы эмаль-агрегатов по диапазонам размеров эмалируемой проволоки. В диапазоне диаметров от 0,015 до 0,09 мм используются отечественные эмаль-агрегаты типов ЭТ-2 и ЭТ-8, а также НОРЕ-МФ (Италия), ПГЗ-2/5 (ВНР), ЛДО (Австрия). Кроме того, этот же диапазон диаметров, начиная с 0,05—0,06 мм, частично перекрывается эмаль-агрегатами ПГЗ-5/15, НОРЕ-128 и НОРЕ-192 (модели АВ), предназначенными для эмалирования проволоки диаметром до 0,15 мм включительно.

Общий вид агрегата ЭТ-2 показан на рис. 7.1. Отдающее устройство агрегата (рис. 7.2) безынерционное. Это означает, что при смотке проволоки отдающая катушка неподвижна. В результате натяжение проволоки очень мало, что обеспечивает возможность использования отдающей тары с проволокой практически любой массы и резко уменьшает обрывность при эмалировании.

При производстве проводов особо ответственного на-

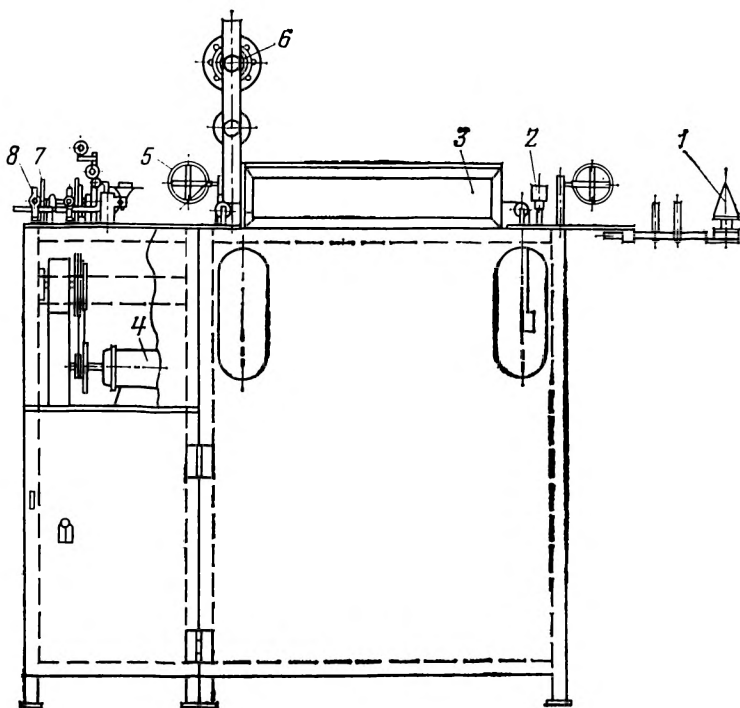


Рис. 7.1. Схема агрегата типа ЭТ-2 для эмалирования проволоки диаметром 0,02—0,04 мм.

1 — отдающее устройство с фетровым обжимом; 2 — лаковый узел; 3 — печь; 4 — приводной электродвигатель; 5 — направляющие ролики; 6 — тяговая шайба; 7 — раскладывающее устройство; 8 — приемное устройство.

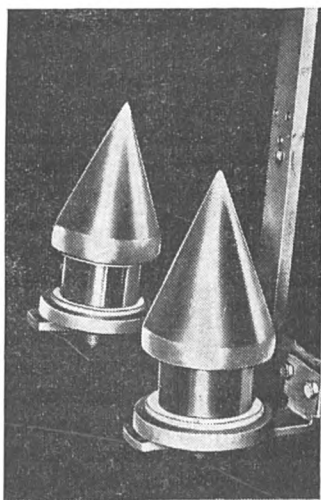


Рис. 7.2. Отдающее устройство, применяемое на агрегате ЭТ-2.

значения проволоку необходимо очищать от жировых и прочих загрязнений, для чего катушка с медной проволокой помещается в специальное устройство с растворителем, причем в качестве последнего целесообразно использовать тот же растворитель, который входит в состав применяемого для эмалирования лака. Сматываясь с катушки со скоростью 30—70 м/мин и проходя через хлопчатобумажный протир, проволока очищается. Промежуточные направляющие ролики принудительного вращения не имеют. При применении 10-канавочных роликов скорость эмалирования увеличивается до 75—100 м/мин с одновременным повышением качества эмалированных проводов.

Для компенсации удлинения проволоки за счет ее нагревания в печи диаметр канавок роликов постепенно увеличивается. Разность диаметров для крайних канавок составляет от 0,5 до 1 мм. Оптимальная масса роликов не более 40 г.

Лак на проволоку на агрегате ЭТ-2 наносится с помощью замшевых обжимов. Толщина покрытия зависит от вязкости и сухого остатка лака и от степени обжатия провода замшей, которая устанавливается вручную по опыту эмалирования или в отдельных случаях с помощью индикаторов. Количество лака, поступающего в ванночку, регулируется при помощи зажимных винтов крана.

Эмаль-печь имеет отдельные камеры для каждого из двух ходов проволоки. Нагреватели — закрытые, представляющие собой керамическую трубку с обмоткой из нихромовой проволоки. Тепловая изоляция обеспечивает температуру на поверхности печи не более 70°C. Диапазон рабочих температур эмали-печи агрегата ЭТ-2 200—360°C. Регулирование температуры и поддержание ее на заданном уровне обеспечиваются с помощью автоматической релейной установки типа МАРТ-48, одновременно контролирующей температуру в 48 камерах. Проволока заправляется в эмали-печь при помощи нихромовых лент, протягиваемых вдоль камеры. Натяжение провода на приемном устройстве регулируется с помощью пластинчатого фрикциона. Регулирование скорости ступенчатое (путем изменения передаточного отношения между шкивами привода). При изменении скорости эмалирования агрегат необходимо останавливать. Газы, выделяющиеся при эмалировании, не подвергаются каталитическому



сжиганию и отсасываются с помощью вентиляционной, которая находится под агрегатом.

В настоящее время кабельные заводы переоснащаются венгерскими двухходовыми эмаль-агрегатами ПГЗ-2/5 (рис. 7.3), предназначенными для эмалирования проволоки диаметром 0,025—0,050 мм. Отдающее

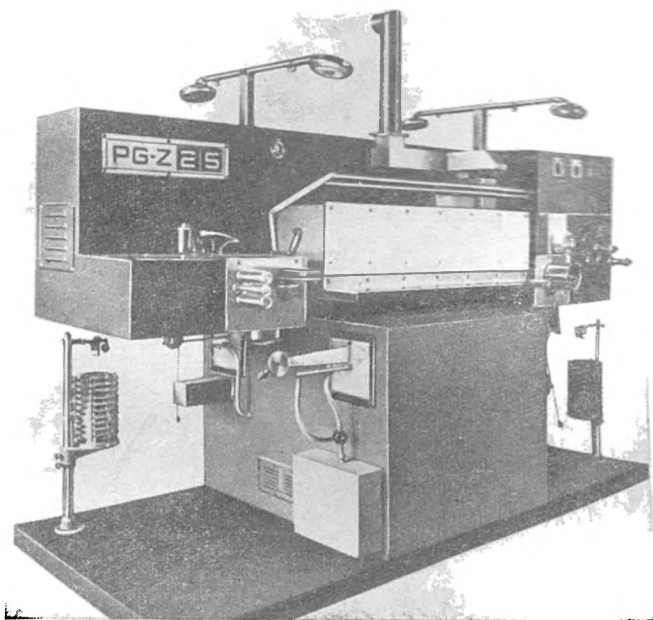


Рис. 7.3. Общий вид агрегата типа ПГЗ-2/5 для эмалирования проволоки диаметром 0,025—0,050 мм.

устройство для проволоки безынерционного типа имеет направляющий закрытый конус, состоящий из полированных дисков из органического стекла. Печь отжига снабжена встроенным парогенератором, трубчатая камера печи выполнена из нержавеющей стали. Среда отжига — паровая. Пар вводится в камеру печи со стороны, противоположной входу проволоки, что практически исключает появление окислов на ее поверхности. Число проходов проволоки через лаковый узел — 12. Подача лака к движущейся проволоке — дозированная. Схема

системы лакоподачи агрегата ПГЗ-2/5 показана на рис. 7.4.

Система лакоподачи состоит из схемы управления, клапана дозатора лака, емкости для лака и устройства нанесения лака на проволоку. Клапан дозатора лака представляет собой электрический мембранный насос с регулируемым ходом. Регулируя ход мембраны, можно осуществлять дозировку подачи лака в лаковый узел.

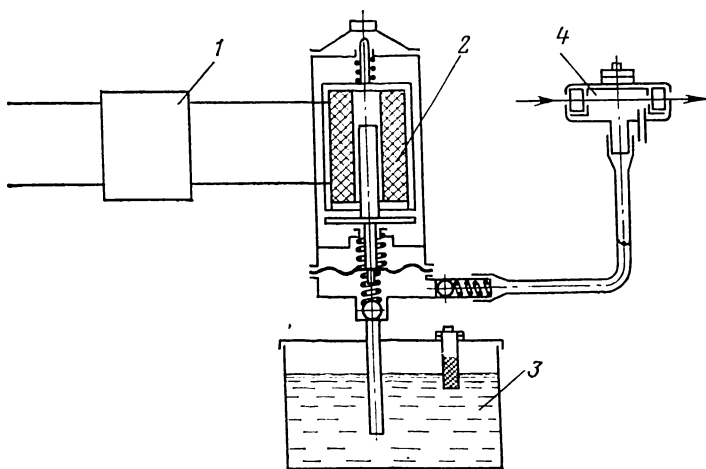


Рис. 7.4. Система лакоподачи эмаль-агрегата ПГЗ-2/5.

1 — схема управления; 2 — клапан дозатора лака; 3 — емкость для хранения лака; 4 — устройство для нанесения лака на проволоку.

Правильно выбранная дозировка лака обеспечивает нанесение соответствующей толщины слоя лака на проволоку. При заправке и в других необходимых случаях эмаль-печь может открываться и отодвигаться. Температура в печи регулируется с точностью  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Эффективная тепловая изоляция позволяет ограничить температуру наружной поверхности печи  $40^{\circ}\text{C}$ . Эмаль-агрегат ПГЗ-2/5 оборудован устройством для каталитического сжигания отходящих газов. Скорость движения проволоки через эмаль-агрегат (конструктивная) до 600 м/мин. Натяжение проволоки поддерживается в заданных пределах с помощью специальной фотоэлектрической системы. Поворотные ролики печи вращаются независимо друг от друга, в результате чего выравнивается степень

натяжения проволок после нагревания в печи. Тяговое устройство имеет тиристорное управление. Приемное устройство — сдвоенного типа. При наполнении катушки она может быть заменена пустой без остановки агрегата. При смене катушки фотоэлектрический регулятор работает таким образом, что окружные скорости пустой и наполненной катушек равны друг другу. При обрыве проволоки привод тягового устройства и система подачи лака выключаются.

На кабельных заводах также широко используются эмаль-агрегаты типа НОРЕ-МФ (фирма «Сикме», Италия). Агрегаты двухходовые, число проходов — 12. Конструктивная скорость до 600 м/мин. Лак накладывается на проволоку с помощью мягких обжимов, подача лака — порционная. Дозирующее устройство позволяет регулировать количество подаваемого лака и, следовательно, изменять толщину слоя лака, накладываемого за один проход. В бачки лак может заливаться вручную или от централизованной системы лакоподачи.

Тяговые колеса приводятся во вращение от индивидуальных двигателей постоянного тока. На последнем проходе у тягового колеса предусмотрен прижимной ролик с резиновым ободом. Назначение последнего — обеспечение постоянной линейной скорости проволоки и гашение ее вибрации при замене катушек.

Каждый ход агрегата имеет приемное устройство сдвоенного типа, у которого на планшайбе расположены два приемных шпинделя с приводом от индивидуальных электродвигателей; перезаправка проволоки с одной катушки на другую производится путем поворота планшайбы. Захват проволоки на пустой катушке осуществляется с помощью имеющейся на катушке липкой ленты. Раскладка провода осуществляется в результате возвратно-поступательного движения всего приемного устройства. Реверсирование электродвигателя раскладки осуществляется с помощью концевых переключателей. Предусмотрена возможность плавного регулирования натяжения проволоки и ширины раскладки.

Для эмалирования медной проволоки диаметром 0,05—0,09 мм используются также восьмиходовые агрегаты старой серии типа ЭТ-8 (рис. 7.5). Основные узлы этих агрегатов аналогичны узлам агрегата типа ЭТ-2. Кроме медной проволоки диаметром 0,05—0,09 мм на агрегате ЭТ-8 можно эмалировать проволоку из

сплавов высокого сопротивления диаметром 0,03—0,07 мм, причем в этом случае применяются инерционные отдатчики, а проволока сматывается с катушки при вращении ее в центрах.

Очистка проволоки производится с помощью фетрового обжима (сухого или смоченного в растворителе).

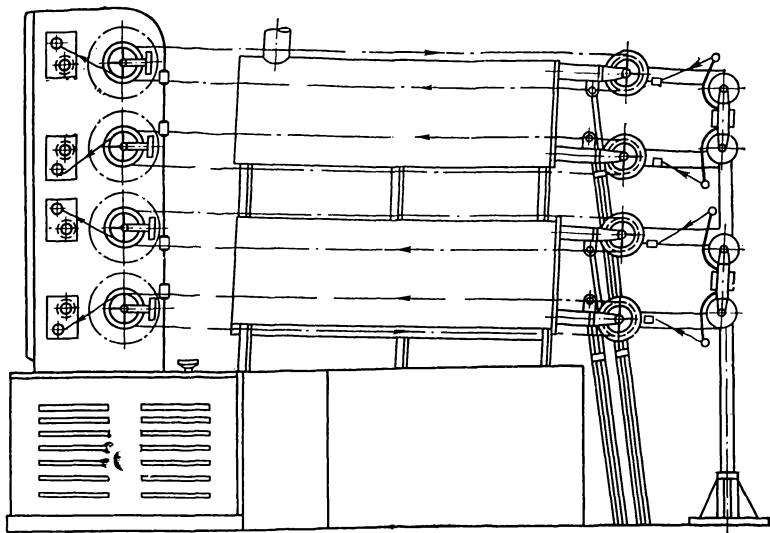


Рис. 7.5. Общий вид агрегата ЭТ-8 для эмалирования проволоки диаметром 0,04—0,09 мм.

Для наложения на агрегате ЭТ-8 поливинилацеталевого лака используются фетровые обжимы, а при эмалировании более жидким полиэфирным лаком применяются фитили.

В отличие от агрегата типа ЭТ-2 подача лака к агрегатам типа ЭТ-8 централизованная (от системы автоматического лакоприготовления и контроля вязкости). Агрегат имеет две четырехкамерные печи, причем каждый ход располагается в отдельном керамическом муфеле. На агрегате ЭТ-8 регулирование скорости бесступенчатое и осуществляется при помощи ленточно-конусного вариатора. Для уменьшения натяжения выходной блок роликов имеет принудительное вращение. Конструктивные скорости эмалирования — 13—40 м/мин. Максимальные скорости эмалирования достигаются при примене-

нии 10-канавочных тяговых и перекидных роликов. Для эмалирования проволоки диаметром от 0,05 до 0,14 мм применяются горизонтальные эмаль-агрегаты, принцип действия которых наиболее целесообразно рассмотреть на примере итальянских эмаль-агрегатов типа НОРЕ-128 и НОРЕ-192, которые успешно эксплуатируются на отечественных кабельных заводах. На этих агрегатах соответственно в 8 и 12 проходов эмалируется 16 проволок со скоростью до 270 и 300 м/мин. При применении полиэфирных лаков скорость эмалирования снижается до 90—190 м/мин. Принципиальная схема эмаль-агрегата НОРЕ-192 показана на рис. 7.6.

Максимальная емкость отдающей тары для агрегата НОРЕ-128—50 кг, для агрегата НОРЕ-192—60 кг. Отдающие устройства безынерционного типа смонтированы в нижней части станины; отдающие барабаны в агрегатах НОРЕ-128 установлены горизонтально для облегчения размотки провода. В агрегатах НОРЕ-192 отдающие катушки не вращаются и расположены вертикально на съемных тележках, что облегчает операцию загрузки. Провод сматывается с катушки с помощью вращающегося отдающего приспособления — флайера, устанавливаемого на отдающую катушку сверху. В качестве приемной тары могут использоваться катушки диаметром 250 мм и расстоянием между щеками 160 мм. Постоянство натяжения провода в процессе намотки обеспечивается применением приводных электродвигателей с большим скольжением. Привод катушек — индивидуальный. Регулировка натяжения при намотке общая для всех приводных электродвигателей катушек и осуществляется с помощью автотрансформатора, установленного на передней стороне приемника. Кроме того, каждое приемное устройство снабжено панелью для индивидуальной регулировки натяжения в пределах  $\pm 15\%$ . Рабочее натяжение рассчитывается исходя из значения около 60 Н на 1 мм<sup>2</sup> сечения эмалируемого провода. Тяговые шайбы также индивидуальные для каждого хода проволоки. Они имеют текстолитовые кольца и снабжены обрезиненными прижимными роликами. Привод тяговых шайб — от двигателя постоянного тока через червячный редуктор и специальные ременные передачи.

Агрегат имеет циркуляционную систему лакоподачи. Лак подается к лаковому узлу насосом; количество лака дозируется при помощи регулировочных задвижек,

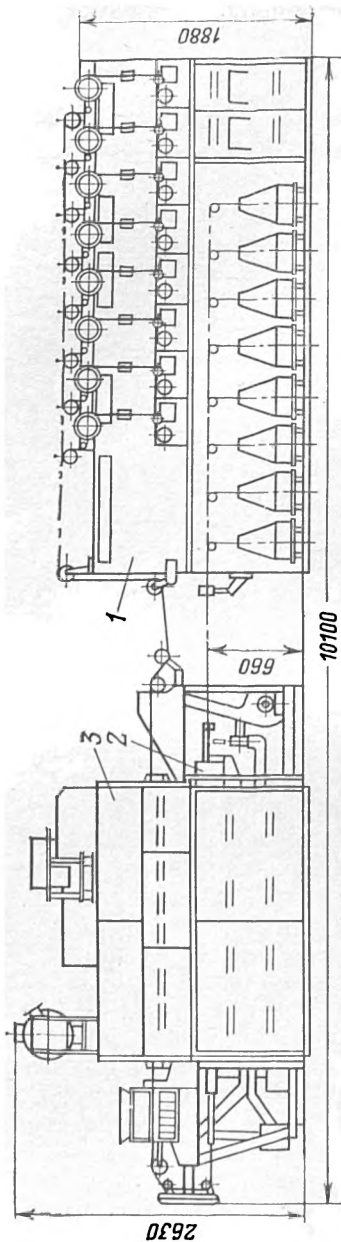


Рис. 7.6. Принципиальная схема эмали-агрегата НОРЕ-192.  
 1 — прямо-отдающее устройство; 2 — печь отжига; 3 — эмаль-печь.

установленных в системе. Циркуляционная система снабжена фильтром для очистки лака. После фильтра установлен предохранительный клапан; его назначение — исключить резкое повышение давления внутри системы в случае неправильного регулирования лакопдачи.

Агрегат может снабжаться лаковыми узлами двух типов: роликового и с применением фетровых обжимов. Фетровое устройство дает при эксплуатации лучшие результаты; такое устройство применяется для нанесения лака малой вязкости. С помощью специальной электронной аппаратуры контролируется количество подаваемого на каждый ход лака, причем количество подаваемого лака соответствует количеству лака, наносимого на проволоку. При этом вязкость лака остается неизменной. Система фетровых обжимов обеспечивает правильное распределение лака по поверхности проволоки. Лакононающее устройство расположено со стороны печи, удаленной от приемно-отдающего устройства, что обеспечивает удобство доступа к нему. Емкость бака для лака 80 л, бак

укомплектован указателем уровня, сливным устройством, насосом, фильтром и может подключаться к системе централизованной лакоподачи. Приемно-отдающее устройство снабжено системой раскладки провода, представляющей собой каретку на шариковых втулках, которая совершает поочередно возвратно-поступательные

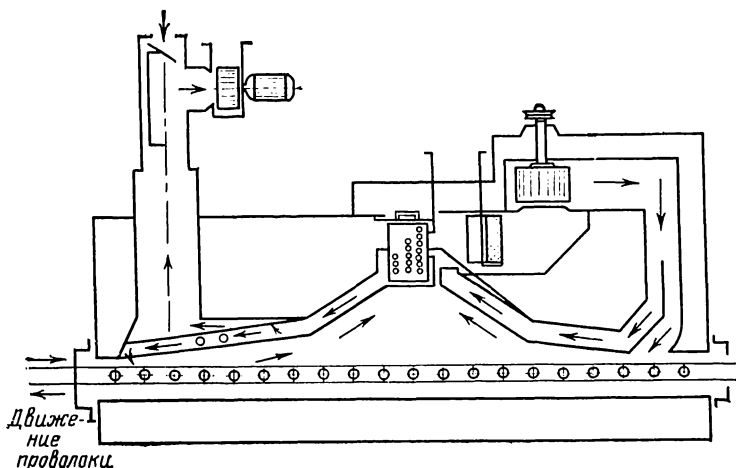


Рис. 7.7. Схема тепловых потоков в эмали-печи агрегата НОРЕ-192.

движения. Устройство обеспечивает пять шагов раскладки; изменение шага раскладки производится путем смены шестерен. Ширина раскладки регулируется бесступенчато.

Схема эмали-печи агрегата НОРЕ-192 показана на рис. 7.7. Камера печи и устройства для каталитического сжигания отходящих газов выполнены из нержавеющей стали. Теплоизоляцией является каменная вата. Электрические нагреватели легко заменяются на новые. Камера печи разделена на две зоны: одна зона — для испарения растворителя, вторая — для запечки лака. Температура каждой из этих зон контролируется саморегулирующим пирометром. Газы отсасываются в центре камеры эмали-печи и пропускаются через каталитическую плиту, после чего очищенные газы поступают в

систему циркуляции и затем снова в рабочую камеру печи с целью максимального использования тепла. Регулирование количества поступающих газов осуществляется с помощью комплекса шиберов. Каталитическое устройство снабжено терморегулятором для включения вспомогательных нагревательных элементов, а также системой аварийной сигнализации в случае превышения допустимой температуры в зоне после каталитической плиты. Каталитическое устройство имеет также два термоэлектрических преобразователя, расположенных до и после каталитической плиты. Температура катализатора не должна быть ниже 340°C, так как при более низкой температуре происходит неполное сгорание паров растворителей и быстрое загрязнение каталитических элементов. Температура катализатора не должна также превышать 600°C, так как при такой температуре каталитические элементы могут выйти из строя. При превышении допустимой температуры срабатывает предупредительная звуковая и световая сигнализация, останавливается вытяжной вентилятор, предохраняя каталитические элементы от возможного повреждения. При этом нагреватель катализатора выключается, лак быстро удаляется из ванны, а проволока без лака может продолжать двигаться через печь на пониженной скорости. В противном случае возникает опасность самовозгорания взрывоопасной смеси, скопляющейся в печи из-за остановки вытяжного вентилятора.

Печь снабжена вентилятором, необходимым для обеспечения циркуляции газов внутри печи. Отсасывающий вентилятор приводится во вращение от двигателя постоянного тока, что позволяет легко регулировать его частоту вращения при применении различных типов лака. Печь имеет также отдельный вентилятор для отсоса газов и сброса их в дымовую трубу и устройство для охлаждения входного и выходного блоков перекидных роликов. Проволока заправляется в печь с помощью восьми нихромовых лент (по одной на каждые два хода); ленты приводятся в движение через муфты от вала, связанного с моторедуктором. Длина камеры печи у агрегата типа НОРЕ-128—2 м, у агрегата типа НОРЕ-192—2,5 м.

Агрегаты фирмы «Сикме» имеют паровую печь отжига с трубками из жаропрочной стали для прохода отдельных проволок. Печь отжига комплектуется специ-



альным парогенератором для создания защитной паровой среды при отжиге медной проволоки. Каждая печь отжига — на восемь ходов; следовательно, на весь агрегат необходимы две печи. Мощность двух печей 13 кВт. Температура каждой печи регулируется при помощи термоэлектрических преобразователей и терморегулято-

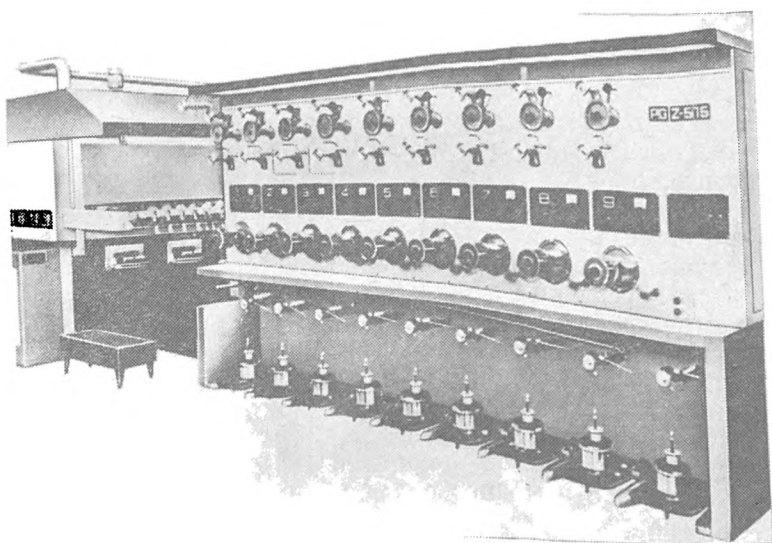


Рис. 7.8. Общий вид эмаль-агрегата типа ПГЗ-5/15.

ров на транзисторах. К агрегатам аналогичного типа можно отнести венгерские эмаль-агрегаты типа ПГЗ-5/15 (рис. 7.8). Это 18-ходовые агрегаты, причем отдающие катушки располагаются на двухколесных тележках по обеим сторонам приемного устройства так, что эти тележки могут транспортироваться по всему цеху. Торможение осуществляется с помощью рычага фрикционным диском, прижимаемым пружиной к фетровому диску. Торможение рычагом служит только для того, чтобы затормозить отдающее устройство при неравномерном наматывании проволоки или ее обрыве. Стабилизация натяжения проволоки обеспечивается за счет применения резинового ролика. Агрегаты имеют по две печи отжига,

каждая по девять ходов. Защитная атмосфера печей — паровая; каждая проволока проходит через отдельную трубку из жаропрочной стали. Трубки залиты в алюминиевый блок, в этот же блок залиты и нагреватели. Мощность каждой печи 3 кВт.

Нанесение лака на проволоку осуществляется с помощью фетров, для дозированной лакоподачи используются электромагнитные мембранные насосы.

Направляющие ролики с целью обеспечения требуемого натяжения по проходам имеют конусность, равную 1,6%. Ролики охлаждаются с помощью воздуха, причем количество охлаждаемого воздуха регулируется на стороне всасывания вентилятора, расположенного под печью.

Внутренняя часть эмали-печи изготавливается из жаропрочной стали, все эмалируемые проволоки расположены в одной плоскости. Отсос паров растворителя производится в середине печи. Печь оборудована каталитическим устройством для сжигания отходящих газов. Тяговые шайбы приводятся во вращение от коллекторного двигателя переменного тока. Приемные устройства оборудованы трехфазными асинхронными двигателями, подключаемыми к одной фазе при помощи специального конденсатора. Момент вращения и частота вращения регулируются с помощью отдельных тиристорных регуляторов напряжения. Катушки закрепляются непосредственно на удлиненной оси электродвигателей.

Агрегаты ЛДО-ОН/К-40/5 или 40/6 австрийской фирмы «Фукс» (б. фирма МАГ) отличаются упрощенностью конструкции для максимально возможного облегчения обслуживания, особенно при производстве тончайших проводов. Общий вид такого агрегата, предназначенного для эмалирования проволоки диаметром 0,03—0,09 мм, показан на рис. 7.9. Эти агрегаты отличаются только различным количеством проходов проволоки через лак (пять или шесть), а следовательно, числом эмали-печей и лаконосящих устройств. Агрегат обеспечивает одновременное эмалирование 40 проволок со скоростями до 220 м/мин. Скорость эмалирования зависит от типа применяемого лака и диаметра проволоки. Агрегат типа ЛДО-ОН/К-40 удобен также для производства эмалированных проводов с дополнительными защитными слоями или с комбинированной изоляцией из различных лаков. В этом случае в лаковые ванны, не зависящие друг от

друга, заливаются различные лаки (например, при шести проходах через лак в первые четыре ванны может заливаться полиуретановый лак, а в последние две — лак на поливинилбутиральной основе, обеспечивающий наложение дополнительного термопластичного слоя). Принципиально эмаль-агрегаты такого типа могут быть изготовлены с любым числом печей и проходов проволоки с соответствующим увеличением или уменьшением общей длины. Общая длина агрегата в зависимости от числа печей составляет 23—25 м, общая мощность — 67—75 кВт. Отдающее устройство флайерного типа, т. е. катушки с проволокой неподвижно закреплены на горизонтальной оси, а сматывание проволоки осуществляется с помощью вращающегося флайера (вращающегося поводка) — через щеку катушки.

Флайер выполнен с небольшим торможением для предотвращения излишней размотки провода при случайных остановках.

Агрегат имеет печь отжига с общей камерой на все 40 ходов проволоки. Защитная среда от окисления проволоки — водяной пар, для получения которого используется дистиллированная вода.

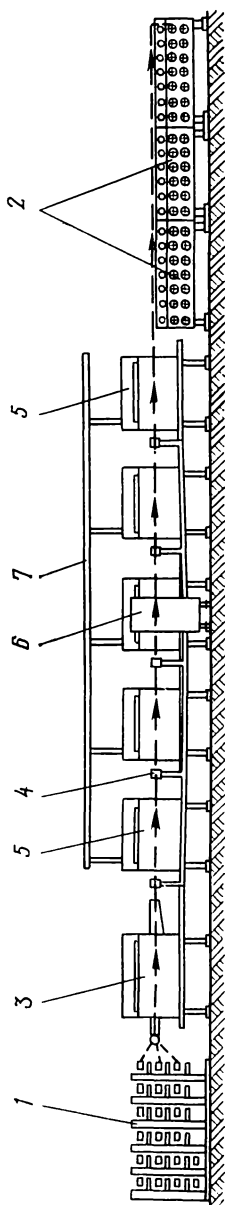


Рис. 7.9. Схема эмаль-агрегата типа ЛДО-ОН/К-40/5.

1 — отдатчик с катушками проволоки; 2 — приемник с катушками провода; 3 — печь отжига; 4 — лаконосящий узел; 5 — эмаль-печь; 6 — измерительный пульт; 7 — подача лака.

Медная проволока очищается от волоочильной эмульсии в специальном устройстве с помощью промывки горячей дистиллированной водой. Печь отжига позволяет не только обеспечить качественный отжиг проволоки на высоких скоростях эмалирования, но и исключить возможный обрыв проволоки при остановке ее движения за счет некоторого снижения температуры в камере.

Лакононосящее устройство — валикового типа (рис. 7.10); валик приводится в движение специальным электродвигателем. Поверх каждой канавки валика расположена стальная пластинка, снимающая излишки лака и создающая некоторое давление лака в канавках.

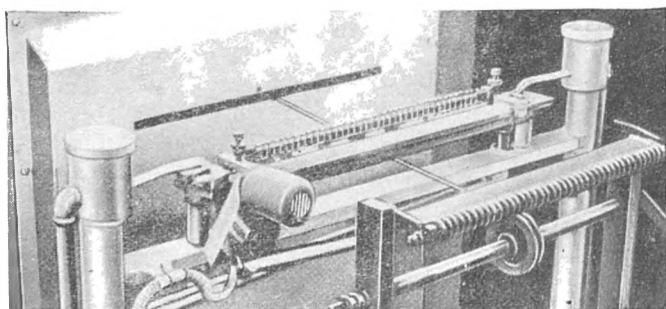


Рис. 7.10. Лакононосящее устройство эмаль-агрегата типа ЛДО-ОН/К-40/5.

С помощью изменения положения прижимной металлической пластины изменяется нажатие на лакононосящее устройство из фетра или замши, что позволяет регулировать толщину покрытия.

Агрегаты могут снабжаться лакононосящими устройствами с применением фитильного метода наложения лака. Агрегат имеет циркуляционную систему подачи лака к лаковому узлу. Емкость передвигного бака для лака около 200 л; лак перекачивается насосом и проходит через очистительный фильтр. Если бак закрепляется в агрегате стационарно, то он имеет меньшую емкость (около 50 л). С помощью специальной аппаратуры могут регулироваться температура и вязкость лака. Агрегат может иметь по два лаковых бака для обеспечения быстрой замены одного лака другим.

Эмалировочная камера (реторта) эмаль-печи имеет электрический обогрев и изготовляется из жаростойкой стали, что улучшает равномерность распределения температуры внутри реторты. Длина печи 1,3 м. Печь снабжена устройством для каталитического сжигания отходящих газов, причем это устройство имеет дополнительные электрические нагреватели, работающие в момент пуска агрегата в эксплуатацию. После достижения нормальных рабочих режимов эти нагреватели отключаются, так как необходимая температура каталитических элементов обеспечивается за счет выделения тепла при сгорании отходящих из эмаль-печи газов. Каждая печь агрегата имеет отдельное терморегулирующее устройство. Следовательно, при работе агрегата температура в каждой печи может быть различной. В приемное устройство могут устанавливаться катушки диаметром 50—125 мм. Принципиально возможна установка катушек диаметром 160 мм. Регулирование скорости бесступенчатое в диапазоне от 40 до 240 м/мин. Постоянство натяжения проволоки на приемной катушке в процессе намотки обеспечивается применением специальных муфт, принцип работы которых основан на использовании вихревых токов. Приемные катушки могут группироваться по несколько штук таким образом, что скорость движения проволоки на отдельных ходах агрегата различна (но постоянна в пределах групп). Быстрая смена катушек с готовым проводом достигается за счет применения двоярных приемных устройств.

### **7.1.2. Агрегаты для производства проводов диаметром 0,10—0,41 мм**

Наиболее распространенными в отечественной практике агрегатами для эмалирования медной проволоки диаметром 0,10—0,41 мм являются вертикальные агрегаты типов М-24 и С-24, которые имеют принципиально одинаковую конструкцию. Первоначально эти агрегаты были рассчитаны для одновременного эмалирования масляными лаками 24 проволок (в три погружения). Широкое применение синтетических лаков, которые наносятся на проволоку с помощью калибров в пять-шесть проходов, привело к тому, что сейчас на агрегатах подобного типа одновременно эмалируется только 12—14 проволок. На агрегате М-24 эмалируется медная прово-

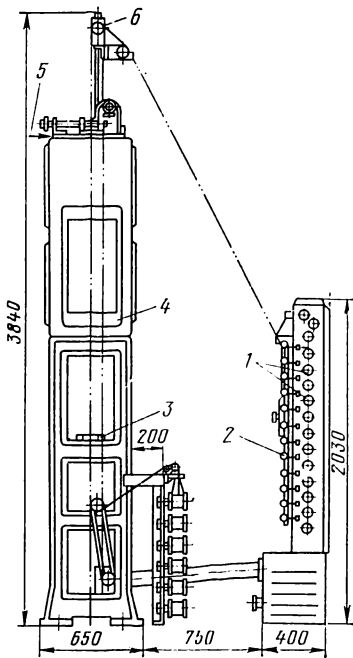


Рис. 7.11. Схема агрегата типа М-24.

1 — прямо-отдающее устройство; 2 — раскладывающие ролики; 3 — лаковый узел; 4 — эмаль-печь; 5 — технологическая запорная вентиляция; 6 — направляющие ролики.

лока диаметром 0,10—0,19 мм, на С-24 — 0,20—0,41 мм. Кроме того, на эмаль-агрегате С-24 изготавливаются алюминиевые эмалированные провода диаметром 0,38—0,55 мм. Оба агрегата могут использоваться для изготовления проводов из сплавов высокого сопротивления.

Схема агрегата М-24 показана на рис. 7.11 (подобное же устройство имеет и агрегат С-24). Отдающие и приемные устройства расположены с одной стороны эмаль-печи. Отдающие ка-

тушки устанавливаются либо на вертикальных, либо на горизонтальных осях. Очистка проволоки после схода с отдающих катушек производится с помощью фетровых обжимов или других устройств.

Эмалирование масляными лаками на агрегатах типов М-24 и С-24, как и на любых других вертикальных агрегатах, осуществляется методом погружения. При эмалировании синтетическими лаками применяется калибровый способ наложения лака с использованием лаковых ванн трех типов: ванн открытых гребенчатых с фетровыми уплотнениями, через которые проволока проходит в ванну; ванн с лаконаносящими валиками и ванн с трубками.

Наиболее прогрессивными являются ванны с лаконаносящими валиками (рис. 7.12), которые удобны при заправке и эксплуатации, имеют минимальную поверхность испарения, обеспечивают небольшое натяжение проволоки и уменьшают подтекание лака. Недостатком такой ванночки является то, что вращающиеся валики

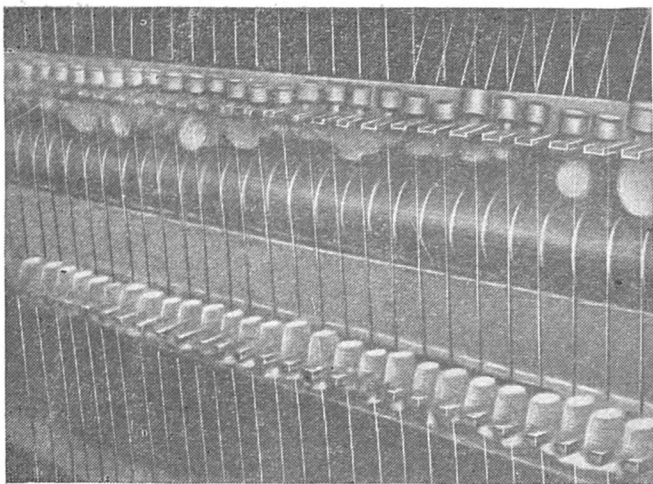


Рис. 7.12. Ванна с лаконаносящими валиками на агрегате М-24.

усиленно перемешивают лак, а это приводит к испарению растворителя, изменению вязкости лака и захвату пузырьков воздуха.

Обычно лак к эмалировочным ваннам подается с помощью централизованной циркуляционной системы. Такая система обеспечивает также автоматический контроль вязкости и разведение лака до рабочей вязкости.

Эмаль-печь агрегата М-24—однозонная, агрегата С-24—двухзонная. Внутреннее пространство печей выложено шамотным кирпичом. В первых конструкциях печей нагреватели выполнялись закрытыми, сейчас печи выпускаются с открытыми нагревателями. Температура в печах регулируется с помощью термоэлектрических преобразователей и автоматических электронных потенциометров типов ЭПВ и ЭПД.

Печи М-24 и С-24 снабжаются системой «запорной вентиляции». Эта система снижает расход электроэнергии за счет уменьшения потерь тепла на нагрев воздуха в камерах печей. У верхних и нижних щелевых отверстий печи создается противодавление, которое как бы тормозит естественный приток воздуха снизу вверх. Для этого в верхней и нижней частях печи устанавливаются

воздушные камеры, подсоединенные к вытяжным и нагнетательным воздуховодам. Система запорной вентиляции имеет две вытяжные камеры (нижнюю и верхнюю) и одну приточную (верхнюю). Нижняя вытяжная камера предназначается для частичного отсасывания воздуха, поступающего в печь, верхняя — для удаления паров растворителя. Верхняя приточная камера тормозит естественное движение воздуха через печь путем создания противодействия.

Опыт эксплуатации эмаль-печей с запорной вентиляцией показал, что в результате внедрения запирающих камер экономия электроэнергии в эмаль-печах составляет 40—45% с одновременным снижением загазованности атмосферы цеха отходящими газами. Кроме того, снижается температура наружной поверхности печей и повышается срок службы нагревателей.

Проволока приводится в движение тяговым валом, расположенным в нижней части агрегата на входе в лаковую ванну. Тяговый вал имеет 72 цилиндрические канавки для прохода проволоки. Регулирование скорости эмалирования проволоки бесступенчатое, с помощью вариатора. Вращение приемных катушек осуществляется через центральный вертикальный вал; натяжение регулируется с помощью дисковых фрикционов. Скорость эмалирования на агрегатах М-24 может изменяться от 12 до 36 м/мин, на С-24 — с 8 до 24 м/мин. Установленные мощности агрегатов М-24 — 13,5 кВт, С-24 — 22,5 кВт.

На большинстве кабельных заводов эмаль-агрегаты М-24 и С-24 усовершенствованы путем увеличения емкостей отдающей и приемной тары, улучшения температурной кривой эмаль-печи, замены вариаторов приводом от двигателей постоянного тока, установки устройств для каталитического сжигания отходящих от эмаль-печей газов.

На отечественных кабельных заводах для эмалирования проводов диаметром от 0,08 до 0,30 мм также успешно эксплуатируется современное высокопроизводительное эмаль-оборудование, выпускаемое в ВНР и Италии. (Эмаль-агрегаты типа ПГЗ-10/30 в принципе подобны агрегатам ПГЗ-5/15, но отличаются большей мощностью и габаритами). Так, длина эмаль-печи эмаль-агрегата ПГЗ-1Л/30 на 500 мм больше, чем у эмаль-агрегата ПГЗ-5/15. Соответственно больше и номинальная мощность эмаль-печи: 63 кВт против 54 кВт. Как и аг-



агрегат ПГЗ-5/15, агрегат ПГЗ-10/30—18-ходовой; диапазон скоростей эмалирования — от 30 до 300 м/мин. Эмаль-агрегаты НОРЕ-120 и НОРЕ-192 (модель L) фирмы «Сикме» имеют близкие характеристики, но позволяют эмалировать проволоку с минимальным диаметром — 0,08 мм.

### 7.1.3. Агрегаты для производства проводов диаметром 0,30—2,44 мм

Для эмалирования проволоки диаметром от 0,30 до 2,44 мм на кабельных заводах широко применяются отечественные агрегаты типа Б-30 двух модификаций, которые различаются числом проходов и установленной мощностью печи, но по принципу действия аналогичны. Схема работы агрегата типа Б-30 показана на рис. 7.13.

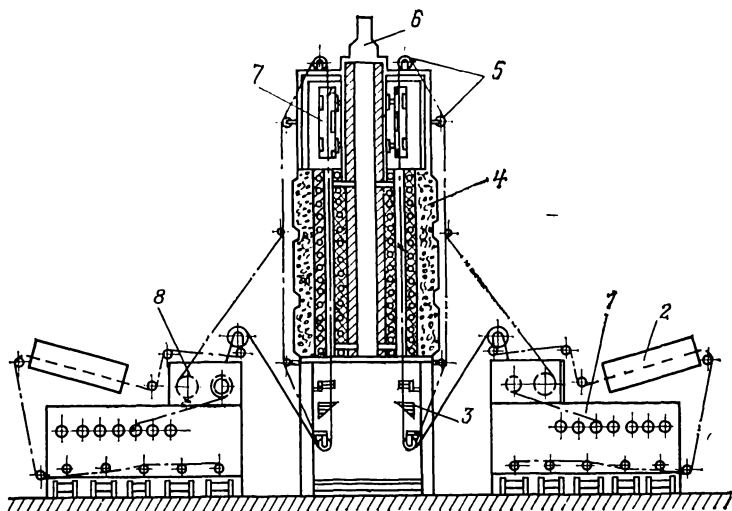


Рис. 7.13. Схема агрегата типа Б-30.

1 — приемно-отдающее устройство с раскладчиками; 2 — печь отжига; 3 — лаковый узел; 4 — эмали-печь; 5 — поворотные ролики; 6 — вытяжная вентиляция; 7 — охлаждающая приточная вентиляция; 8 — тяговое устройство.

Эмали-печи агрегатов типа Б-30 состоят из двух камер, в каждой из которых располагается 8—10 ходов проволоки. Приемные устройства располагаются по обе стороны печи. На агрегатах типа Б-30 эмалируется медная 20—1201

провода диаметром 0,30—1,56 мм и алюминиевая диаметром 0,57—2,44 мм.

Отдающее устройство агрегатов типа Б-30 может быть как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением катушек с проволокой. При вертикальном расположении катушка с проволокой ставится непосредственно на пол, а отдача проволоки осуществляется с помощью флайера. При горизонтальном расположении катушек они располагаются на горизонтальных осях или устанавливаются на двух параллельно расположенных катках, вращающихся в шарикоподшипниках. Катушки в таком отдающем устройстве вращаются легко, с минимальным натяжением проволоки, причем число изгибов проволоки сокращается. После отдающего устройства проволока через фетровые протирки и систему направляющих роликов поступает в печь отжига. Использование печи отжига в агрегате для эмалирования проволоки дает возможность получить равномерный отжиг проволоки по длине и лучшую чистоту ее поверхности. Для предотвращения окисления проволоки в процессе отжига в печи создается паровая среда. Пар на некоторых заводах подается к печам отжига централизованно; на ряде заводов применяются индивидуальные парогенераторы. Равномерность паровой среды в печи отжига обеспечивается применением вентилятора для перемешивания пара. Нормальным расположением печей отжига в агрегатах типа Б-30 следует считать горизонтальное, хотя принципиально возможно и вертикальное расположение. Мощность печей отжига составляет 13—15 кВт при мощности парогенератора 2 кВт.

Из печи отжига проволока проходит в лаковую ванну, обычно представляющую собой открытую емкость с фетровыми прокладками между двумя металлическими гребенками, предотвращающими вытекание лака. Иногда на агрегатах типа Б-30 для эмалирования проволоки применяются ванны с роликами, но в этом случае они не обеспечивают характерных для этого типа ванн преимуществ. Прежде всего из-за большого объема лака, захватываемого проволокой, происходит быстрое загустевание лака в ванне. Кроме того, при эмалировании жидкими лаками в ванночке с лаконаносщими роликами происходит вытекание лака.

Эмаль-печь агрегата Б-30 состоит из двух камер, разделенных между собой вентиляционным колодцем.

Охлаждение эмалированного провода на выходе из печи осуществляется с помощью приточной вентиляции, расположенной над рабочей камерой. Над вентиляционным колодцем расположена вытяжная вентиляция. Нагреватели в эмали-печи могут быть как закрытого, так и открытого типа. В том случае, если печь имеет нагреватели открытого типа, они защищаются от непосредственного соприкосновения с проволокой нихромовой сеткой.

Агрегаты типа Г-20 для эмалирования проволоки конструктивно схожи с агрегатами типа Б-30, но имеют увеличенную высоту и большую мощность эмали-печей, а также более мощные приемные устройства. Агрегаты Г-20 предназначены для изготовления медных эмалированных проводов диаметром 1,16—2,44 мм. Кроме того, агрегаты Б-30 и Г-20 несколько различаются кинематической схемой своих приемно-отдающих устройств. На обоих агрегатах вращение осей производится от общего распределительного вала через систему шестеренчатых передач. Натяжение провода регулируется с помощью дисковых фрикционов с прижимной гайкой с пружиной. Плавное регулирование скорости осуществляется за счет применения вариатора. Установленная мощность агрегата Г-20 140 кВт, число ходов — 10, число проходов каждой проволоки через лак — 8, скорость эмалирования — 4—16 м/мин.

Современные вертикальные эмали-агрегаты отличаются от агрегатов старой серии большей высотой печи, наличием каталитического сжигания отходящих газов и рекуперации выделяющегося при этом тепла, приводом приемных катушек, обеспечивающим постоянство натяжения проволоки в процессе приема. Кроме того, прием проволоки может производиться на конические катушки, что особенно важно при использовании эмалированных проводов для автоматической намотки статоров электродвигателей. Агрегатами подобного типа все шире заменяют на кабельных заводах агрегаты типов Б-30 и Г-20. Принципы конструкции и работы новых агрегатов проще всего представить на примере оборудования итальянской фирмы «Сикме».

Фирма «Сикме» выпускает серию вертикальных эмали-агрегатов, рассчитанных на различное число эмалируемых проволок (число проходов 80, 96, 112, 128, 140, 144). Основные узлы этих агрегатов идентичны, поэтому пред-

ставляется целесообразным рассмотреть один из этих эмаль-агрегатов — типа ВРЕ-144, используемый на отечественных кабельных заводах. Общий вид и схема этого агрегата показаны на рис. 7.14. Агрегат типа ВРЕ-144 предназначен для эмалирования медной проволоки диаметром 0,3—1,10 мм; агрегат 20-ходовой, причем проволока эмалируется в семь проходов с расстоянием между отдельными проходами 11 мм. Емкость проволоки отдающих катушек около 300 кг; прием проволоки производится на катушки диаметром 300 мм и расстоянием между щеками 280 мм. Конструктивная

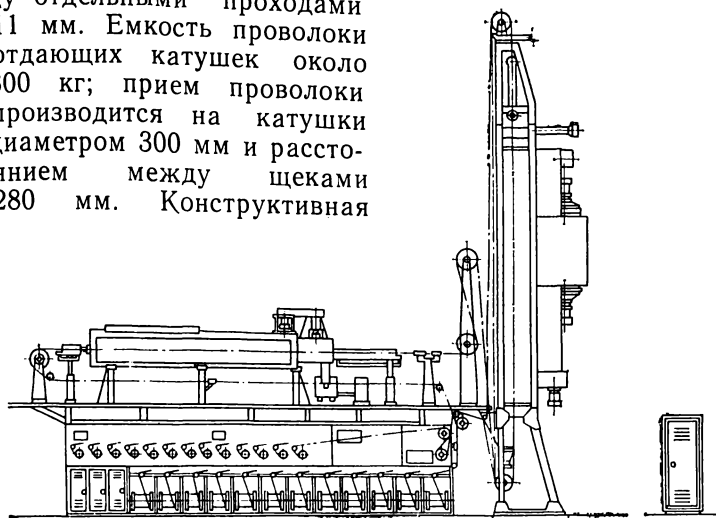


Рис. 7.14. Схема вертикального эмаль-агрегата типа ВРЕ-144.

скорость до 70 м/мин, рабочая скорость 22—68 м/мин. Высота агрегата около 11 м, длина 12,2 м. Агрегат имеет циркуляционную систему лака; метод наложения лака — с помощью неразъемных калибров. Емкость бака для хранения лака 150 л. В агрегатах такого типа прием проволоки может производиться также на конические катушки с емкостью 30 и 50 кг.

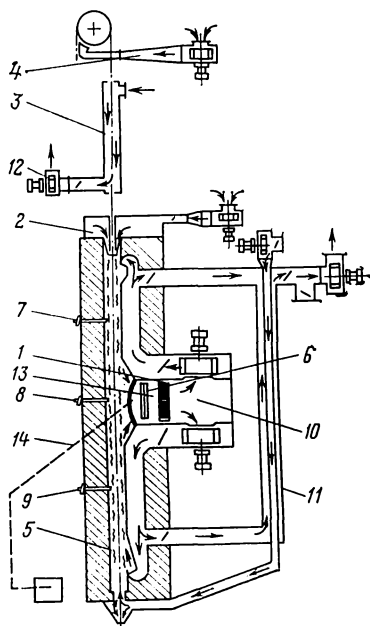
Особый интерес представляет эмаль-печь и печь отжига. Схема эмаль-печи агрегата ВРЕ-144 показана на рис. 7.15. Камера эмаль-печи изготовлена из нержавеющей стали; нагреватели закрытые. Нагрев производится за счет тепла, выделяющегося при сгорании в каталитическом устройстве смеси растворитель — воздух и возвращаемого в рабочую камеру. Камера печи разделена на две зоны: первая зона от входа проводов до уровня устройства отсоса газов, вторая — от уровня устройст-

ва отсоса газов до верхней части печи. В первой зоне происходит в основном испарение растворителей, во второй — необходимая термообработка лакового покрытия. Температура каждой из двух зон регулируется независимо.

В нормальных рабочих условиях два отсасывающих вентилятора всасывают растворитель — газ из рабочей

Рис. 7.15. Схема циркуляции потоков газов в эмаль-печи агрегата типа ВРЕ-144.

1 — каталитические элементы; 2 — устройство для воздушного подпора; 3 — охлаждение проводов; 4 — охлаждение роликов; 5 — электронагреватели камеры печи; 6 — электронагреватели катализатора; 7—9 — электрические преобразователи камеры печи; 10 — термоэлектрический преобразователь катализатора; 11 — воздухоотвод к вытяжной трубе; 12 — отсасывающий вентилятор для охлаждения проводов; 13 — термоэлектрический преобразователь для контроля температуры газов, входящих в катализатор; 14 — место забора воздуха для определения взрывоопасности.



камеры печи через каталитические элементы, в которых все горючие элементы окисляются. Температура горящих газов регистрируется при помощи термопары, имеющейся в каталитической камере. Отсасывающие вентиляторы направляют через задвижку газы в первую зону, причем во время движения газы передают тепло камере печи конвекцией, а затем поступают в камеру через задвижки. Избыточная часть этих газов, определяемая регулировкой положения задвижки, поступает в дымовую трубу. Воздух, подаваемый к нижнему отверстию печи, предварительно нагревается за счет теплоты избыточных газов, отводимых от системы рекуперации. Подача воздуха регулируется с помощью задвижек, воздух засасывается нагнетающими вентиляторами. Температура

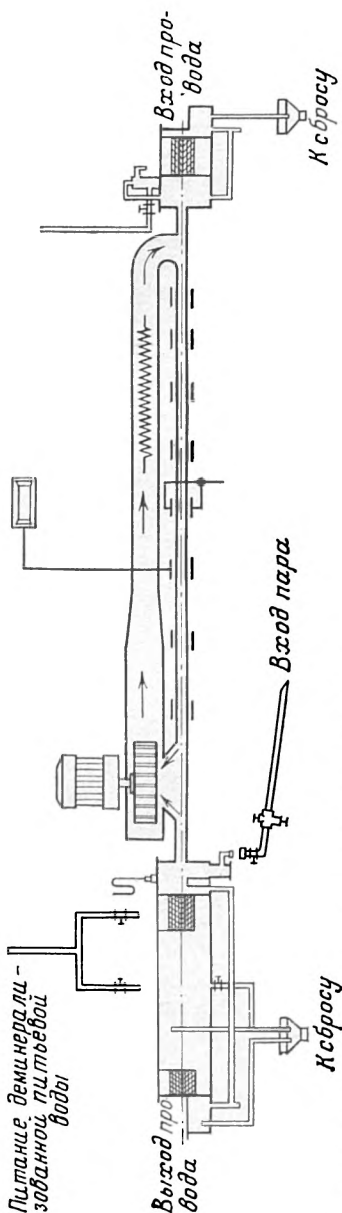


Рис. 7.16. Схема печи отжига агрегата типа ВРЕ-144.

воздуха перед входом в печь составляет примерно  $100^{\circ}\text{C}$ ; с помощью специальных задвижек воздух равномерно распределяется по сечению камеры печи. Верхний отсасывающий вентилятор направляет газы после катализатора через задвижку в верхнюю зону. Во время движения часть теплоты газы передают во вторую зону печи за счет конвекции, а затем поступают непосредственно в камеру. Избыточная часть газов направляется через дымовую трубу и выбрасывается в атмосферу. Равномерность распределения температуры по ширине печи обеспечивается соответствующей регулировкой и установкой задвижек.

Следует отметить, что оба отсасывающих вентилятора каталитического устройства приводятся во вращение независимо один от другого двигателями постоянного тока. Регулируя частоту их вращения, можно изменить количество газов, отсасываемых от входного отверстия печи, а следовательно, и температуру катализатора. В случае необходимости отсасывающие вентиляторы могут вращаться с разными частотами; в этом случае в каждую из двух зон печи может направляться различное количество газов. Приборы для контроля и изменения скорости от-

всасывающих вентиляторов расположены на общем щите.

Каталитическое сжигание отходящих газов происходит только при температуре выше  $350^{\circ}\text{C}$ . В связи с этим каталитическое устройство снабжено комплектом электрических нагревателей, автоматически включающихся при температуре ниже  $350^{\circ}\text{C}$ , в том числе при пуске эмаль-печи после ее остановки.

Над верхним отверстием печи расположена камера подпора (уравновешивание давления), предотвращающая выход газов из рабочей камеры. Воздух отбирается отсасывающим вентилятором из помещения и направляется в устройство подпора. Количество поступающего воздуха дозируется с помощью специального клапана. Излишнее количество воздуха, поступающего через устройство подпора, может охлаждать вторую зону печи, что недопустимо. Над устройством подпора находится охлаждающее устройство. Охлаждение производится за счет подачи на провода холодного воздуха; при этом не должно наблюдаться вибрации проводов.

Эмаль-агрегат типа ВРЕ-144 имеет печь отжига с принудительной циркуляцией пара, схема которой показана на рис. 7.16. Отжиг проволоки происходит в среде, насыщенной перегретым паром. Теплота передается к проволоке как конвекцией, так и за счет излучения от стенок камеры печи. Это позволяет осуществлять отжиг проволоки при более низкой температуре нагревательных элементов, чем та, которая необходима в случае применения традиционных трубчатых печей. Кроме того, при остановке эмаль-агрегата исключается опасность перегорания проволоки в печи отжига.

Циркуляция пара обеспечивает равномерное распределение температуры по ширине и длине камеры. В описываемой печи отжига пар от отдельных парогенераторов через централизованный распределитель и трубопроводы подается к отверстиям, расположенным на входе и выходе проводов в камере отжига. Регулировка подачи пара производится с помощью редуктора давления. Поданный таким образом пар всасывается вентилятором и направляется в верхнюю камеру, где расположены электрические нагреватели для перегрева пара. Эти нагреватели включаются и выключаются отдельным выключателем, который срабатывает только после включения вентилятора. Пар подается в камеру отжига, за-

тём заново всасывается вентилятором, обеспечивающим принудительную циркуляцию пара в системе.

В целях предотвращения подсоса наружного воздуха в печь отжига и ограничения потерь пара отверстия для входа и выхода проводов закрываются с помощью целлюлозных губок, пропитанных водой. В связи с этим в системе циркуляции пара создается определенное давление. Губки с обеих сторон печи непрерывно пропитываются водой; в противном случае они выйдут из строя в результате действия перегретого пара. Подача воды к губкам не должна быть также чрезмерной, так как при этом кроме повышенного расхода воды возможно попадание воды в камеру отжига, вызывающее конденсацию части пара и последующее окисление поверхности медной проволоки. Установленная мощность агрегата типа ВРЕ-144 около 250 кВт, причем мощность эмали-печи около 187 кВт, печи отжига — 44 кВт. В качестве электродвигателей приемных осей используются двигатели с большим скольжением, обеспечивающие постоянство натяжения провода при намотке катушки.

В настоящее время кабельные заводы оснащаются эмали-агрегатами типа ПГЗ-30/110 производства ВНР, предназначенными для эмалирования проволоки диаметром от 0,3 до 1,1 мм. Агрегаты рассчитаны на 24 хода при эмалировании в шесть проходов и на 20 ходов при эмалировании в семь проходов.

Выпускаются также 12-ходовые эмали-агрегаты типа ПГЗ-30/300, предназначенные для эмалирования проволоки диаметром 1,1—3,0 мм в восемь проходов. Отдающее устройство этих агрегатов с вращающейся катушкой — вертикального исполнения. Равномерное натяжение проволоки обеспечивается специальной автоматической системой. Устройство оборудовано гидравлической ручной подъемной тележкой, облегчающей труд эмалировщика. Печь отжига имеет общую камеру для всех проволок, отжигательная среда — паровая. Эмалирование производится с помощью калибров, система лакопдачи оборудована фильтром и устройством для подогрева лака. Печь трехзонная, оборудована устройством для каталитического сжигания отходящих газов. Наружные стенки печи нагреваются не выше 60°C. Тяговые шайбы, как и прижимные ролики, покрыты резиной. Регулирование частоты вращения тяговой шайбы производится с помощью двигателя постоянного тока. Управление при-



емной катушкой производится с помощью тиристорного регулятора. Двигатель приемной катушки имеет характеристики, обеспечивающие равномерность натяжения проволоки.

#### 7.1.4. Агрегаты для производства прямоугольных проводов

Принцип действия эмали-агрегатов для производства прямоугольных эмалированных проводов удобно рассмотреть на примере агрегата типа ВРЕЖП-36 итальянской фирмы «Сикме» (рис. 7.17). Агрегат четырехходовой, предназначен для эмалирования проволоки сечением от 3,1 до 62,5 мм<sup>2</sup>. Максимальная ширина эмалируемой проволоки 25 мм, максимальная толщина 4,0 мм. Проволока эмалируется в девять проходов. Скорость эмалирования от 3,6 до 12 м/мин при конструкционной скорости 2—16 м/мин. Лак накладывается на проволоку с помощью калибров. Емкость отдающего барабана 600 кг; на приемном устройстве устанавлива-



Рис. 7.17 Схема эмали-агрегата типа ВРЕЖП-36.

ются барабаны диаметром щеки 700 мм. Агрегат снабжен циркуляционной системой лакоподачи с фильтрацией, рекуперационной системой каталитического сжигания отходящих газов. Установленная мощность агрегата около 340 кВт при высоте 12,3 м.

Из отдельных узлов этого агрегата наибольший интерес представляет приемное устройство, имеющее индивидуальные тяговые устройства на каждый ход. Диаметр тяговой шайбы 890 мм. Перед тяговой шайбой про-

вод проходит через ролик, который имеет устройство, снабженное нажимной пружиной с регулятором и микропереключателем для остановки тягового устройства в том случае, если натяжение будет выше допустимого.

Привод приемной оси осуществляется от электродвигателя с большим скольжением, обеспечивающего постоянство натяжения. Двигатель имеет две обмотки (с переключением на четыре и восемь полюсов) и редуктор с передаточным отношением 1:16. Натяжение катушки регулируется с помощью автотрансформатора. Положение провода на приемной катушке определяется направлением движения каретки с катушкой, которая перемещается поперечно относительно тяговой шайбы и соответственно провода. Перемещение салазок, движущихся на шариковых втулках, осуществляется при помощи гидравлической системы, что обеспечивает равномерность и бесшумность перемещения. Масло из бака с помощью шестеренчатого насоса через распределитель с электромагнитом, переключающим направление подачи и выпуска 4 раза на каждый оборот приемной оси, подается в дозировочный цилиндр, приводимый от приемной оси. В связи с этим каждому обороту катушки соответствуют четыре хода поршня дозировочного цилиндра и четыре порции масла, подаваемого в цилиндр каретки. Из дозировочного цилиндра через другой распределитель с электромагнитом, переключающим направление подачи и выпуска при каждом конце хода каретки, масло подается в цилиндр каретки. Ход каретки, несущей катушку, регулируется до 300 мм. Количество масла, подаваемого из дозировочного цилиндра в цилиндр каретки, определяет шаг раскладки на каждый оборот приемной оси. Так как ход поршня дозировочного цилиндра регулируется специальной системой с рычагом, можно получать шаг раскладки в пределах 2—30 мм на каждый оборот приемной оси.

## **7.2. СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭМАЛИРОВАНИЯ**

Эмалирование проволоки представляет собой нанесение жидкого лака на поверхность проволоки с последующей тепловой обработкой в эмали-печи, в результате которой образуется изоляционное покрытие. Качество образующегося изоляционного покрытия зависит от физико-химических свойств лака, качества поверхности

эмалируемой проволоки и правильности режимов наложения лака на проволоку и последующей тепловой его обработки.

Основные способы эмалирования проволоки следующие:

а) эмалирование погружением, когда в ванну с лаком погружаются направляющие проволоку ролики и проволока, покрытая лаком, поступает в эмаль-печь;

б) эмалирование с помощью фетровых обжимов, когда лак наносится на проволоку вращающимся валиком или погружением, а фетровые обжимы выполняют роль калибрующих устройств, снимающих излишки лака;

в) эмалирование с помощью металлических калибров, когда лак наносится на проволоку так же, как и в предыдущем случае, но излишки лака с проволоки снимаются металлическими калибрами с твердосплавными вставками;

г) эмалирование с помощью фитилей, когда проволока касается фитиля, смоченного лаком, в результате чего на нее наносится покрытие. Иногда применяется комбинированный способ наложения лака на проволоку малых диаметров, при котором после фитилей устанавливают фетровые обжимы;

д) эмалирование без применения растворителей, когда покрытие на проволоку наносится из расплава смолы, которая в горячем состоянии имеет малую вязкость, с последующим снятием излишков полимерного покрытия с помощью металлических калибров.

Кроме того, возможно электростатическое нанесение на проволоку изоляционного покрытия из порошкообразных полимеров с последующей тепловой обработкой с целью оплавления и проведения последующих операций полимеризации или поликонденсации. Покрытия могут наноситься на проволоку также электрофоретическим путем из водных суспензий электроизоляционных материалов. Последний метод особенно интересен для получения жаростойкой стеклоэмалевой или керамической изоляции, причем толщина покрытия в этом случае плавно регулируется изменением тока при электрофорезе.

Оригинальным методом нанесения лака, представляющим собой разновидность метода наложения с помощью калибров, является метод с использованием газового калибра, предложено в ВНР. В сопло, образуемое вокруг

эмалируемой проволоки, подается сжатый воздух, удаляющий излишки лака. Сжатый воздух, подаваемый от компрессора, должен быть сухим, без примесей масла. Давление воздуха непосредственно после компрессора 0,59 Па, далее стоят редукторы. Расход воздуха на каждый калибр составляет 5—6 м<sup>3</sup>/ч.

Рассмотрим основные способы эмалирования более подробно.

Эмалирование погружением (рис. 7.18) применимо только для таких маловязких лаков, какими являются масляные лаки. Кроме того, масляные лаки содержат достаточное количество лаковой основы и незначительно изменяют свою вязкость в ванне в процессе эмалирования. В настоящее время масляные лаки заменяются синтетическими и применение способа эмалирования погружением все в большей степени ограничивается.

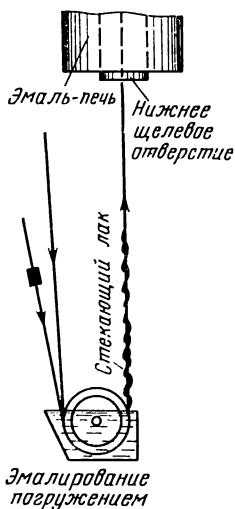


Рис. 7.18. Эмалирование проволоки погружением.

Эмалирование с помощью фетровых (или замшевых) обжимов применяется в отечественной практике довольно редко. При эмалировании на вертикальных агрегатах такой способ наложения лака не обеспечивает равномерности толщины покрытия. Это объясняется тем, что усилие обжатия фетровыми обжимками проволоки, покрытой слоем жидкого лака, по ее периметру различно. Однако для горизонтальных эмаль-агрегатов метод эмалирования с помощью замшевых обжимов широко распространен и, в частности, используется для эмаль-агрегатов

типов ЭТ-2 и ЭТ-8. Устройство для наложения лака на проволоку, применяемое на эмаль-агрегате типа ЭТ-2, показано на рис. 7.19. Толщина слоя жидкого лака в этом случае зависит от таких свойств применяемого мягкого материала (замша, драп), как ворсистость, плотность и диаметр элементарных волокон. Для наилучшего смачивания поверхности проволоки лаком и растекания лака по поверхности, а также максимальной адгезии после тепловой обработки покрытия в эмаль-

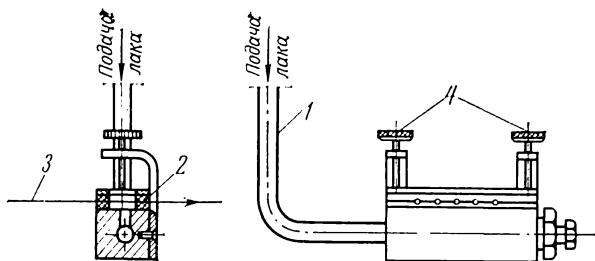


Рис. 7.19. Устройство для наложения лака на проволоку эмаль-агрегата типа ЭТ-2.

1 — канал для подвода лака; 2 — два слоя замши; 3 — эмальируемая проволока; 4 — зажимные винты.

печи необходимо использование лака с минимальным поверхностным натяжением и проволоки с предварительно обезжиренной поверхностью, имеющей в то же время микрошероховатости. При нанесении на тонкую проволоку лакового покрытия с помощью мягких обжимов на поверхности эмалевой изоляции может наблюдаться появление местных утолщений, расположенных примерно на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 7.20), так называемая шероховатость. Возникновение шероховатости связано с деформацией жидкого слоя лака на проволоке, распадением его на «бусинки». Время деформации жидкого слоя для различных лаков колеблется в пределах от 0,02 до 0,19 с. Чем больше время деформации при прочих равных условиях, тем более технологичен лак. Время деформации зависит от типа лака, его вязкости, толщины слоя и диаметра эмальируемой проволоки.

Наиболее распространенным способом эмальирования в отечественной практике является эмальирование с помощью неразъемных калибров, представляющих собой металлическую оправку с каналом, в котором располагается вставка из твердого сплава с калибрующим отверстием [1]. Конструкция калибров, применяющихся на различных кабельных заводах, показана на рис. 7.21.

Отверстия в твердосплавных вставках шлифуются, полируются и доводятся до

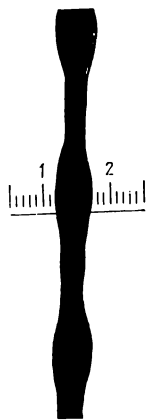


Рис. 7.20. Шероховатый провод диаметром 0,03 мм (увеличение 250\*).

требуемого размера на шлифовально-полировочных станках, а сборка калибров и закрепление в них вставки производятся в фильерных мастерских. Для того чтобы проверить диаметр калибрующего отверстия, через калибр протягивают проволоку и затем измеряют ее диаметр. Основные недостатки калибров, которые должны

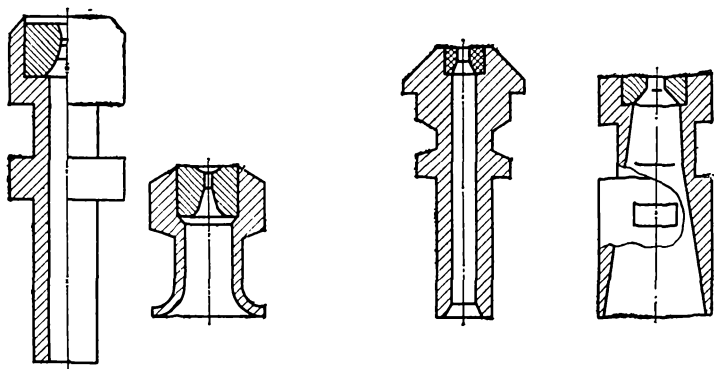


Рис. 7.21. Конструкция калибров, применяющихся на отечественных кабельных заводах.

устраняться в процессе эксплуатации на кабельных заводах, связаны с неоптимальностью формы калибрующего отверстия, быстрым его разрабатыванием, подтеканием лака при эмалировании между вставкой и оправкой. Эти недостатки могут привести к неравномерности и нестабильности толщины слоя наносимого лака, появлению шероховатости, так называемой «корявости», поверхности провода.

Калибры оптимальной конструкции для эмалирования проволоки показаны на рис. 7.22. Характерными особенностями этих калибров являются коническая форма канала, прессовая посадка вставки в оправку, меньшие габаритные размеры вставки. Отверстия в рассматриваемых калибрах имеют жесткие допуски на диаметр. Кроме того, конструкция калибра предусматривает перпендикулярность оси канала опорным плоскостям. Калибры оптимальной конструкции повышают качество эмалированных проводов и производительность труда, уменьшают отходы проволоки и лака, требуют меньше пресс-порошка для получения твердосплавных вставок. Срок службы калибров увеличивается.

Для эмалирования прямоугольной проволоки также применяется метод нанесения лака с помощью калибров. Применяются калибры двух типов: разъемные и неразъемные. Неразъемные металлические калибры имеют стальные вставки, допускающие легкую подгонку под размеры эмалируемой проволоки. В ряде зарубежных

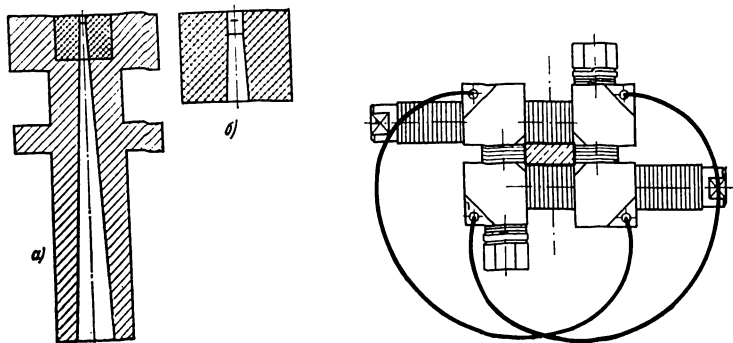
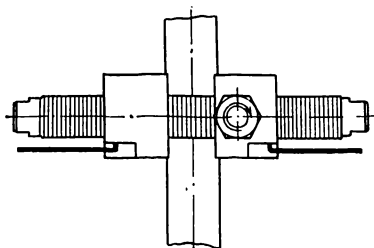


Рис. 7.22. Калибр для эмалирования проволоки диаметром 0,10—0,20 мм.

*a* — калибр в собранном виде; *б* — заготовка из твердого сплава (неперпендикулярность оси калибра относительно плоскостей *A* не более 0,02 мм).

Рис. 7.23. Калибры для эмалирования прямоугольной проволоки фирмы «Сикме» (Италия).



эмаль-агрегатов используются разъемные калибры с применением двух пружин (рис. 7.23). В них направляющие калибры прижимаются к эмалируемой проволоке с усилием, задаваемым натяжением пружин, охватывающих калибр с наружной стороны.

Недостатки существующих способов эмалирования определяются самой сущностью процесса эмалирования, связанного с применением токсичных и дорогостоящих лаков, большой трудоемкостью процесса, необходимостью круглосуточной работы эмаль-агрегатов и их большими габаритами. Поэтому в последние годы интенсивно ведутся поиски новых принципов получения на проволоке тонкослойной изоляции, отвечающей современ-

ным требованиям [2]. Известны попытки использовать метод электроосаждения изоляции на движущуюся проволоку из водных растворов анионных смол, метод отверждения жидких покрытий под действием ультрафиолетовых лучей, вихревой метод нанесения изоляции из порошковых материалов.

Интересный метод электростатического нанесения на проволоку порошковых материалов в псевдооживленном слое предложен в [3]. Схема наложения изоляции показана на рис. 7.24. Устройство для нанесения изоляции

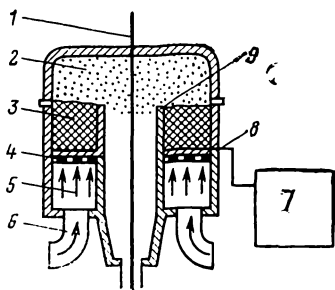


Рис. 7.24. Схема нанесения полимерного покрытия электростатическим методом.

1 — проволока; 2 — облако заряженного порошка; 3 — псевдооживленный заряженный порошок; 4 — пористая керамическая пластина; 5 — нагревательная камера; 6 — подача воздуха; 7 — подача высокого напряжения (постоянный ток); 8 — заряжающие электроды; 9 — экран контроля нанесения покрытия.

электростатическим методом состоит из двух камер с псевдооживленным порошком, располагающихся симметрично относительно провода. Электроды устройства находятся под высоким напряжением, в результате чего частицы порошка заряжаются и притягиваются к проволоке. Для обеспечения стабильности толщины изоляции, наложенной электростатическим методом, необходимо плавно изменять напряжение на электродах.

Технологические режимы эмалирования определяются характеристиками применяемого лака, числом покрытий лаком проволоки, скоростью эмалирования и температурой в эмали-лечи, а вернее, ее температурной кривой. Это параметры, как правило, регламентируются в технологических стандартах и являются общими для определенных типов эмали-агрегатов.

Типовой технологией эмалирования для определенных типов проводов прежде всего оговаривается необходимая вязкость лака и обязательность ее периодического контроля в процессе работы. Лак перед эмалированием желательно подвергать фильтрации, при этом фильтрую-



щие элементы должны, например, иметь следующий размер ячеек:

Для проводов диаметром 0,10—0,19 мм	. 3—6 мкм
Для проводов диаметром 0,20—0,38 мм	. 5—8 мкм
Для проводов диаметром 0,41—1,56 мм	7—12 мкм

Перед эмалированием на эмаль-агрегатах старой серии синтетические лаки должны доводиться до рабочей вязкости, указанной в табл. 7.1. Лак ВЛ-931, или винифлекс, изготавливается на поливинилформальэтилалевой основе; лак ВЛ-941, или метальвин, относится к группе поливинилформалевых лаков. Лаки ПЭ-943, ПЭ-939, «Теребек F-35» являются полиэтилентерефталатными лаками, на практике их обычно называют полиэфирными. Следует отметить, что измерение вязкости вискозиметром ВЗ-4 производится при 25°C, вискозиметром ВЗ-1—при 20°C. Необходимо также напомнить, что растворитель РВЛ представляет собой смесь хлорбензола и этилцеллозольва в соотношении 1 1.

В типовых технологических режимах должны также указываться маршруты калибров и число проходов проволоки через ванну с лаком, определяющих толщину наносимого покрытия. Стабильность толщины изоляции провода является важнейшим фактором, определяющим уровень и однородность его электрических и механических характеристик.

Так как простой интенсификацией нагрева не удается повысить скорость эмалирования, то естественно предположить, что эта скорость зависит также от количества лака, нанесенного на проволоку за один проход, т. е. толщины покрытия. Толщина покрытия за каждый проход определяет допустимую скорость физико-химических процессов превращений жидкого лака в твердую эмаль, причем естественно, что для лаков различной природы эта скорость будет различна. В частности, для полиимидного лака процессы образования эмалевого пленки при тепловой обработке в печи протекают медленнее, чем для лака на основе полиуретанов.

Для масляных лаков, при эмалировании которыми применяется метод погружения или фитильный метод, оптимальное число погружений проволоки в лаковую ванну было определено опытным путем. Для агрегата типа М-24 число проходов при эмалировании масляными лака составляет три-четыре; на агрегатах типа С-24 и Б-30 проволока эмалируется масляными лаками за четыре

Рабочая вязкость синтетических лаков при изготовлении проводов  
на эмаль-агрегатах М-24, С-24, Б-30

Марка провода	Размер провода, мм	Лак	Вязкость,	Вискозиметр	Растворитель
ПЭВ-1, ПЭВ-2	0,10—0,19	ВЛ-931	110—130	ВЗ-4	РВЛ
ПЭВ-1, ПЭВ-2	0,20—0,38	ВЛ-931	150—200	ВЗ-1	РВЛ
ПЭВА	0,38	ВЛ-931	250—300	ВЗ-1	РВЛ
ПЭВ-1, ПЭВ-2	0,41—1,56	ВЛ-931	300—600	ВЗ-1	Лак не разводится
ПЭВА	0,41—0,55	ВЛ-931	250—300	ВЗ-1	РВЛ
ПЭВА	0,57—2,44	ВЛ-931	300—600	ВЗ-1	Лак не разводится
ПЭМ-1, ПЭМ-2	0,10—1,56	ВЛ-941	Не более 800	ВЗ-1	То же
ПЭТВ ПЭТВ-Ф-35 ПЭТВ-939	0,10—0,19	ПЭ-943Б, „Теребек Ф-35“, ПЭ-939	60—80	ВЗ-4	Трикрезол и соль- вент в отношении 1:4
ПЭТВ, ПЭТВ-Ф-35 ПЭТВ-939	0,20—0,38	ПЭ-942Б, „Теребек Ф-35“, ПЭ-939	80—110	ВЗ-4	То же
ПЭТВ ПЭТВ-Ф-35 ПЭТВ-939	0,41—1,56	ПЭ-943Б, „Теребек Ф-35“, ПЭ-939	30—90 (в состоянии поставки)	ВЗ-1	

прохода. Аналогичным путем подбирается также число покрытий при эмалировании синтетическими лаками тончайшей проволоки на агрегатах типов ЭТ-2 и ЭТ-8. Например, при эмалировании проволоки диаметром 0,02—0,05 мм лаком ВЛ-931 (винифлекс) с применением замшевых или фетровых обжимов число проходов составляет семь — девять.

В случае применения калибров для наложения лака на проволоку появляется возможность рассчитать оптимальные маршруты калибров и связанные с ними скорости эмалирования [4] (калибры должны иметь диаметры, постепенно увеличивающиеся на толщину лака).

Соотношение между необходимым временем пленкообразования  $\tau$  и удвоенной толщиной пленки  $\delta$ , накладываемой за каждый проход, для синтетических лаков может быть выражено следующей эмпирической зависимостью:

$$\tau = A\delta^b, \quad (7.1)$$

где  $\tau$  — выражено в минутах;  $\delta$  — в микрометрах;  $A$  и  $b$  — постоянные коэффициенты, характеризующие данный тип провода.

Например, при эмалировании медной проволоки лаком ВЛ-931 или ВЛ-941  $A=0,0026$ ,  $b=2,1$ ; при применении этих же лаков для эмалирования алюминиевой проволоки  $A=0,0019$ ,  $b=2,1$ . Для медной проволоки с изоляцией на основе полиэтилентерефталатных лаков  $A=0,0031$ ,  $b=2,1$ . Изменение рецептуры лака даже одного и того же типа может вызвать изменение значений коэффициентов  $A$  и  $b$  и, следовательно, привести к необходимости корректировки маршрутов калибров.

Если допустимая скорость эмалирования равна  $v_{\text{доп}}$ , м/мин, а высота печи  $H$ , м, то выражение (7.1) можно представить в виде

$$v_{\text{доп}} = H / A\delta^b. \quad (7.2)$$

Из выражения (7.2) видно, что допустимая скорость эмалирования в значительной степени зависит от толщины покрытия, наносимого за каждый проход. Естественно, что скорость образования эмалевой пленки из жидкого лака зависит как от скорости испарения растворителя, так и от скорости реакции пленкообразования, которые учтены в формуле (7.2) соответствующими значениями коэффициентов  $A$  и  $b$ .

Если учесть, что общая удвоенная толщина изоляции  $\Delta$ , обычно обозначаемая в стандартах как  $D-d$ , связана с числом проходов  $i$  простой зависимостью  $\Delta = ib$ , то при эмалировании медной проволоки лаком ВЛ-931 выражение (7.2) можно представить так:

$$v_{\text{доп}} = \frac{H}{A} \left( \frac{i}{\Delta} \right)^{2,1} \quad (7.3)$$

Таким образом, скорость эмалирования возрастает с увеличением числа проходов. Следовательно, тенденция к уменьшению числа проходов, долгое время существовавшая в отечественном производстве эмалированных проводов, являлась неправильной. Ясно, конечно, что повышенная скорость эмалирования может быть реализована только при наличии совершенного технологического оборудования с соответствующими кинематикой, мощностями эмаль-печи и печи отжига и т. п.

В связи с тем, что при нормально работающей эмаль-печи все проходы эмалируемой проволоки находятся практически в одинаковых условиях, для достижения одинаковой термообработки эмаль-пленки при каждом проходе необходимо за каждый проход накладывать пленку строго одинаковой толщины. Это является основой расчетов оптимальных маршрутов калибров. Если за один из проходов на проволоку накладывается пленка, имеющая толщину  $\delta_{\text{max}}$ , большую чем  $\delta_{\text{ср}} = \Delta/i$ , то общая скорость эмалирования будет определяться временем, необходимым для тепловой обработки пленки максимальной толщины, т. е. она будет ниже возможной оптимальной скорости. Обозначим толщины изоляции провода, накладываемой за один проход,  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i$ , где  $i$  — число проходов проволоки через лак. Очевидно, что в том случае, если эти величины различны, имеется возможность увеличения скорости эмалирования путем их изменения. Для этого необходимо использовать такой маршрут калибров, при котором  $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_i$ . При этом достигаемая скорость эмалирования будет определяться величиной  $\delta_1 (\delta_2, \dots, \delta_i)$ , которая меньше максимальной толщины изоляции при первоначальном маршруте калибров. На термообработку более тонкого слоя лака при сохранении теплового режима печи требуется меньше времени, т. е. можно увеличить скорость эмалирования. Таким образом, при наложении за каждый проход плен-

ки толщиной

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i}{i}$$

общая толщина изоляции сохраняется, а скорость эмалирования при применении оптимального маршрута калибров может быть увеличена в сравнении с существующей технологией, если хотя бы одна из толщин  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i$  при существующем маршруте калибров была больше  $\delta_{\text{ср}}$ .

Из рассмотрения гидродинамических условий движения лака относительно калибра можно определить количество лака  $Q$ , накладываемого в единицу времени на проволоку,

$$Q = \frac{\pi v_{\text{пр}} r_0^2}{2} (R^{*2} - 1), \quad (7.4)$$

где  $r_0$  — радиус проволоки;  $v_{\text{пр}}$  — скорость движения эмалируемой проволоки;  $R^*$  — геометрический параметр калибра (безразмерная величина), характеризующий профиль калибра.

Наличие звездочки указывает, что величина, о которой идет речь, является безразмерной.

Геометрический параметр  $R^*$  определяется из следующего выражения:

$$R^{*2} = 1 + 4 \left[ \left( \frac{1}{R_{*1}^* - 1} + \frac{1}{R_{*2}^* - 1} - 1 \right) + \frac{1}{2} \frac{(R_{*1}^* - 1)(R_{*2}^* - 1)}{R_{*1}^* - R_{*2}^*} \ln \frac{(R_{*2}^* + 1)(R_{*1}^* - 1)}{(R_{*1}^* + 1)(R_{*2}^* - 1)} \right]^{-1} \quad (7.5)$$

где  $R_{*1}^* = R_1/r_0$ ;  $R_{*2}^* = R_2/r_0$ ;  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы входного и выходного отверстий калибра.

Если обозначить удвоенную толщину жидкой пленки эмаль-лака после калибра  $\delta_{\text{ж}}$ , то из (7.4) и (7.5) можно получить:

$$\delta_{\text{ж}} = 2r_0 \left\{ \sqrt{1 + 2 \left[ \left( \frac{1}{R_{*1}^* - 1} + \frac{1}{R_{*2}^* - 1} - 1 \right) + \frac{1}{2} \frac{(R_{*2}^* - 1)(R_{*1}^* - 1)}{(R_{*1}^* - R_{*2}^*)} \ln \frac{(R_{*2}^* + 1)(R_{*1}^* - 1)}{(R_{*2}^* - 1)(R_{*1}^* + 1)} \right]^{-1} - 1} \right\} \approx 2r_0 \delta_{\text{ж}} \quad (7.6)$$

Для удобства решения практических задач по формуле (7.6) построены графические зависимости, изображен-

ные на рис. 7.25. Эти зависимости позволяют быстро определить  $\delta_{ж}$  по размерам калибров.

После тепловой обработки в эмали-печи объем лака уменьшается вследствие испарения растворителя и происходящих в пленке процессов поликонденсации или полимеризации. Если отношение объема жидкого лака  $v_{ж}$  к объему твердой эмали  $v_{эм}$  обозначить  $p$ , то

$$p = \frac{d_{ж}^2 - d_0^2}{d_{эм}^2 - d_0^2} = \frac{\delta_{ж}}{\delta} \frac{d_{ж} + d_0}{d_{эм} + d_0}, \quad (7.7)$$

где  $d_0$  — диаметр проволоки до нанесения лака;  $d_{эм}$  — диаметр проволоки по эмалевой пленке;  $d_{ж}$  — диаметр проволоки по жидкой лаковой пленке.

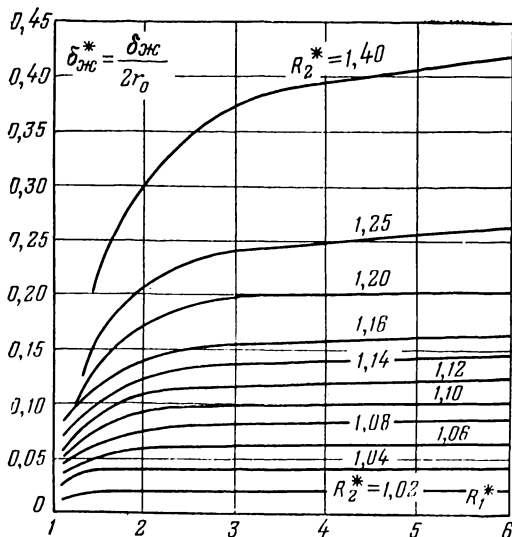


Рис. 7.25. Зависимость толщины изоляции жидкой пленки, накладываемой на круглую проволоку, от геометрических размеров калибров.

Для проводов диаметром выше 0,10 мм, которые изготавливаются с применением калибров,  $(d_{ж} + d_0) / (d_{эм} + d_0) \approx 1$ , поэтому  $p \approx \delta_{ж} / \delta$ .

Следовательно, диаметр эмалированной проволоки после первого прохода

$$d_{эм1} = d_0 + \delta_{ж1} / p. \quad (7.8)$$

В формуле (7.8)  $\delta_{ж1}$  обозначает удвоенную толщину жидкой пленки лака, накладываемого за первый проход

После  $i$ -го прохода имеем:

$$d_{эм} = d_0 + \frac{\delta_{ж1} + \delta_{ж2} + \dots + \delta_{жи}}{p}$$

Коэффициент  $p$  определяется природой лака, его сухим остатком, степенью разведения, наличием воздушных включений в жидком лаке и другими подобными им факторами. Для лака винифлекс она находится в пределах 7,5—11.

По приведенным формулам можно либо по заданному маршруту калибров рассчитать диаметр эмалированного провода, либо по заданной толщине пленки определить необходимый для эмалирования маршрут калибров.

**Пример 7.1.** При эмалировании лаком ВЛ-931 (винифлекс) медной проволоки диаметром 0,67 мм требуется обеспечить наложение изоляции толщиной 0,04 мм. Требуется рассчитать оптимальный маршрут калибров для заданной конструкции провода.

При эмалировании медной проволоки диаметром 0,67 мм на существующем серийном оборудовании число проходов провода через ванну с лаком  $i=6$ . Так как заданная толщина изоляции (на одну сторону) составляет 0,04 мм, то толщина слоя эмали, накладываемого за каждый проход,  $\delta=\Delta/i=0,04/6=0,0067$  мм. Тогда в соответствии с (7.7)

$$\delta_{ж}=p\delta=0,067 \text{ мм } (p=10).$$

Зная  $\delta_{ж}$  и  $R_1=1,0$  мм, находим их относительные значения (для первого прохода):

$$\delta_{ж1}/2r_0=0,01; R^*_1=R_1/r_0=3,0.$$

По графику, приведенному на рис. 7.25, определяем относительный радиус калибрующего сечения калибра  $R^*_2 \approx 1,10$  и  $R_2 = =r_0 R^*_2 = 0,335 \cdot 1,1 = 0,37$  мм, обеспечивающий  $\delta_{ж}/2 = 0,033$  мм.

Следовательно, для первого прохода имеем:

$$\delta_{ж1}=0,1; R^*_1=3,0; R_2=0,37 \text{ мм.}$$

При этом  $R^*_1$  и  $R^*_2$  — относительные входной и выходной радиусы первого калибра. Выходной диаметр первого калибра равен  $2R_2$ , или 0,74 мм.

Рассчитав аналогичным образом размеры калибра со второго по шестой, получим необходимый маршрут калибров.

Расчетные размеры калибров округляются до размеров, которые могут быть в пределах допусков получены при существующих способах изготовления.

При эмалировании на горизонтальных эмаль-агрегатах новой серии используются металлические калибры роликового типа, изготавливаемые из высокопрочной стали. Профиль лакононосящих канавок металлических калибров роликового типа должен быть выполнен в виде равностороннего треугольника. Конструкция такого калибра показана на рис. 7.26.

Температура в эмали-печи поднимается по определенной кривой (рис. 7.27), причем при более низкой температуре происходит испарение растворителя и начинается формирование изоляционной пленки, которое заканчивается при более высокой температуре в верхней части печи. Температура в эмали-печи во многом определяет качество изготовленных проводов. Например, превышение оптимальной температуры на входе в печь может привести к преждевременной полимеризации пленки в то время, как растворитель еще не успел испариться и может вскипеть под пленкой эмали.

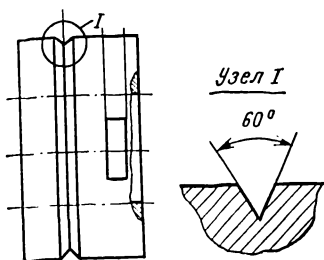


Рис. 7.26. Конструкция металлического калибра роликового типа.

В результате провод будет иметь на поверхности пузыри, трещины и шероховатости, а появление внутренних напряжений в пленке может вызвать снижение физико-механических характеристик изоляции. Образование газовых включений в растворе происходит при более высокой температуре, чем температура кипения растворителя [5]. Это утверждение справедливо при условии, если содержание растворителя не более 0,2 кг на 1 кг сухой основы лака. Последнее значение может считаться критической концентрацией растворителя, ниже которой независимо от температуры проволоки газовые включения в изоляции образовываться не будут.

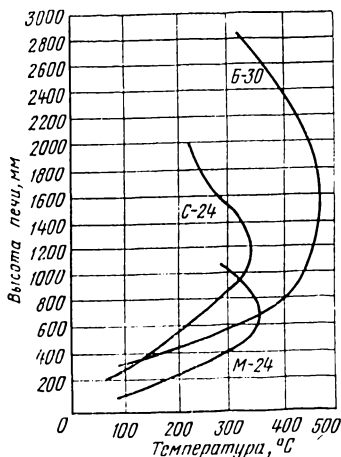


Рис. 7.27. Кривые распределения температуры в печах вертикальных эмали-агрегатов типов М-24, С-24 и Б-30.

Снижение температуры в первой зоне печи ниже оптимальной приводит к тем же самым результатам, так как испарение растворителя происходит не



полностью и продолжается при более высокой температуре в момент затвердевания эмалевой пленки. Вообще превышение температуры в печи вызывает появление хрупкости и снижение эластичности изоляции провода (возникает так называемая «пересушенная эмаль»). Если температура эмалирования недостаточна, эмалевое покрытие будет иметь пониженную механическую прочность на истирание и повышенную термопластичность («сырая эмаль»); иногда наблюдается снижение пробивного напряжения из-за недостаточной степени полимеризации пленкообразующей основы лака. Из приведенных примеров ясно, какое влияние оказывает на свойства эмалированных проводов как температура, так и скоростные режимы эмалирования, характеризующие время пребывания провода в эмаль-печи.

Допустимая предельная скорость эмалирования  $v_{\text{доп}}$ , обусловленная процессом удаления растворителя,

$$v_{\text{доп}} = BL/\delta^2, \quad (7.9)$$

где  $L$  — расстояние, которое провод проходит в эмаль-печи;  $\delta$  — толщина слоя пленки, накладываемой за один проход;

$$B = \frac{\pi^2 D_a \bar{x}_{\text{кр}}}{\ln \frac{4W_{\text{II}}}{\pi W_{\text{кр}}}} \frac{e^{a\tau_{\text{кр}}} - e^{a\tau_0}}{a(\tau_{\text{кр}} - \tau_0)}.$$

В выражении для  $B$  использованы следующие обозначения:

$$\bar{x}_{\text{кр}} = x_{\text{кр}}/L;$$

$D_a$ ,  $a$  — постоянные коэффициенты;  $x_{\text{кр}}$  — расстояние от входа в эмаль-печь, на котором заканчивается зона удаления растворителя;  $W_{\text{II}}$  — начальная концентрация растворителя;  $W_{\text{кр}}$  — критическая концентрация растворителя, при достижении которой возникает опасность появления газовых включений;  $\tau_0$  — температура провода при входе в печь;  $\tau_{\text{кр}}$  — температура провода в конце зоны удаления растворителя.

Следует заметить, что приведенные закономерности имеют значение в основном для эмаль-лаков с легколетучими растворителями. В случае эмалирования нагревостойкими лаками, например на полиэфиримидной основе, в которых применены высококипящие растворители

тели, режим нагревания в зоне удаления растворителя должен быть таким, чтобы как можно быстрее нагреть провод до точки кипения растворителя.

В эмаль-печах агрегатов новой серии температурная кривая более близка к оптимальной. Печь агрегата — двухзонная. В нижней зоне на всей длине поддерживается температура, близкая к температуре испарения растворителя. Температура в этой зоне должна быть такова, чтобы не наступила полимеризация верхнего слоя лака. В противном случае часть растворителя может оказаться под твердой пленкой и при последующем испарении будет повреждать изоляционный слой. Образующиеся пары растворителя должны быстро удаляться из зоны. Однако при повышенной температуре вязкость и поверхностное натяжение лаковой основы резко снижаются, воздушный поток не должен вызывать смещения изоляционного слоя. По данным фирмы «Дженерал инжиниринг», оптимальная температура в первой зоне около  $155^{\circ}\text{C}$ , скорость движения воздуха не выше 200 м/мин.

Температура второй зоны более высокая и отличается от первой примерно на  $100^{\circ}\text{C}$ . Это зона, где происходит полимеризация лака. Так как полимеризация лаковой пленки происходит после испарения растворителя и пленка находится в полутвердом состоянии, скорость воздушного потока не оказывает на нее вредного влияния. Распределение температуры в эмаль-агрегатах новой серии показано на рис. 7.28.

Теоретическое определение максимальной температуры в верхней зоне печи может быть произведено исходя из условий обеспечения требуемой степени пленкообразования [5]. При этом должно учитываться, что при

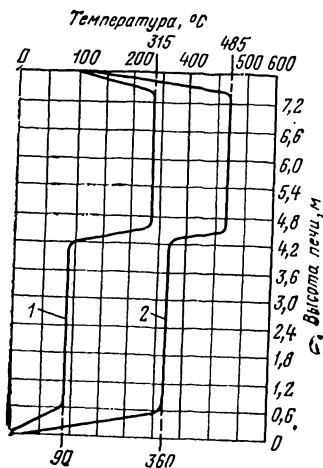


Рис. 7.28. Кривые распределения температуры в вертикальных печах современных высокопроизводительных эмаль-агрегатов.

1 — для полиуретанового лака; 2 — для поливинилцеталевого лака.

превышении допустимой концентрации выделяющихся побочных продуктов реакции могут образовываться газовые включения. Предельная температура, до которой мгновенно можно нагреть покрытие без опасности появления газовых включений,  $T$  и допустимая скорость нагревания в зоне пленкообразования определяются, как правило, экспериментальным путем. Для конкретных типов эмаль-лаков могут быть получены эмпирические формулы. В частности, для лаков на полиэтилентерефталатной основе

$$T_{\text{п}} = \frac{10^3}{0,91 \lg \delta + 0,92}, \quad (7.10)$$

где  $\delta$  выражено в микрометрах, а  $T_{\text{п}}$  — в кельвинах.

Для анализа возможностей повышения скорости эмалирования может быть использована методика, предложенная в [6] и основанная на определении зависимости времени запечки покрытия от температуры при одном цвете эмали.

При этом за основу оценки процесса пленкообразования было принято понятие «степень запечки» эмалевой пленки и были определены зависимости степени запечки от температуры и времени термообработки. Степень запечки  $\beta$  определяется числом связей  $N_2$  в единице объема, образовавшихся между соседними линейными молекулами вещества, составляющего основу эмаль-лака и вступающего в реакцию при пленкообразовании.

Число наборов групп молекул, не вступивших в реакцию, может быть обозначено  $N_1$ . При этом  $\beta = N_2/N$ , где  $N$  — полное число реактивных групп в единице объема. Естественно, что если все реактивные группы вступят в реакцию сшивания, то получим  $N_2 = N$ , и степень запечки будет равна единице. Если  $N_2 = 0$ , т. е. реакции сшивания не происходит, то  $\beta = 0$ . Исходя из того, что сшивание линейных молекул может произойти только в том случае, если кинетическая энергия реактивных групп будет больше некоторого потенциального барьера — энергии активации, можно получить следующее уравнение:

$$\beta = 1 - e^{-\int_0^t a_1 c_1 dt} \quad (7.11)$$

где  $a_1$  — доля стехиометрических наборов групп, которые могут вступить в реакцию благодаря взаимному рас-

положению групп в наборе;  $C_1$  — число вероятных реакций в единицу времени для одного набора реактивных групп;  $t$  — время.

Число реакций  $C_1$  определяется следующим образом:

$$C_1 = \nu_1 e^{-\varphi_1/kT}, \quad (7.12)$$

где  $\varphi_1$  — энергия активации реакции сшивания;  $k$  — постоянная Больцмана;  $T$  — абсолютная температура;  $\nu_1$  — эффективная частота колебаний реактивных групп при реакции сшивания.

Так как при воздействии продуктов реакции на образовавшуюся поперечную связь может протекать и обратная реакция (например, гидролиз), то представляется возможным определить и вероятность  $C_2$  обратной реакции:

$$C_2 = \nu_2 e^{-\varphi_2/kT}, \quad (7.13)$$

где  $\nu_2$  и  $\varphi_2$  — частота колебаний и энергия активации для обратной реакции.

Характер зависимости (7.11) можно установить по изменению физических свойств эмалевой пленки, так как количество образовавшихся связей недоступно для непосредственного измерения. Так, при образовании поперечных связей происходит удаление побочных продуктов реакции, приводящее к потере массы эмаль-пленки. В частности, максимальная потеря массы  $Q$  будет наблюдаться, когда осуществлены все возможные связи, а если осуществлено только  $N_2$  связей, то потеря массы  $q$  будет меньше, чем  $Q$  ( $N_1$  обозначает число не прореагировавших наборов реакционноспособных групп).

В этом случае при постоянной температуре реакции  $T$

$$\beta = \frac{q}{Q} = 1 - e^{-a_1 C_1 t}. \quad (7.14)$$

Из уравнений (7.12) и (7.14) можно получить:

$$\ln t = A + \frac{\varphi_1}{kT}, \quad (7.15)$$

где  $A$  — величина, постоянная для заданной степени запечки.

Оценивая степень запечки по цвету эмалированного провода, т. е. предполагая, что цвет эмаль-пленки связан

с образованием пространственных связей, можно установить зависимость между потерей массы и соответствующим ей цветом изоляции. Естественно, что по цвету сравниваются пленки, полученные на основе одного и того же лака. В этом случае для линий одинакового цвета справедливо уравнение (7.15). Экспериментальные кривые для эмаль-пленки одинакового цвета, полученные при различных температурах, показаны на рис. 7.29.

Из приведенных графиков следует, что, задавая более высокие температуры в печи, можно уменьшить время запечки эмали, т. е. повысить скорость эмалирования, причем имеющиеся возможности повышения скорости еще не исчерпаны. Чем больше скорость эмалирования, тем меньше время пленкообразования и тем выше должна быть температура провода.

Следовательно, скорость пленкообразования определяется температурой в верхней зоне печи. Таким образом, оптимизация температурной кривой эмаль-печи в сочетании с правильным выбором маршрута калибров обеспечивает значительное повышение производительности труда.

В условиях, когда на многих кабельных заводах применяется однотипное оборудование, большое значение

для обеспечения максимальной производительности труда и высокого качества продукции имеет типизация технологических режимов изготовления эмалированных проводов. В основу типовых технологических режимов прежде всего закладывается условие, что покрытие на проволоку должно накладываться равномерно при сохранении существующей общей толщины изоляции. При этом можно уменьшить максимальную толщину изоля-

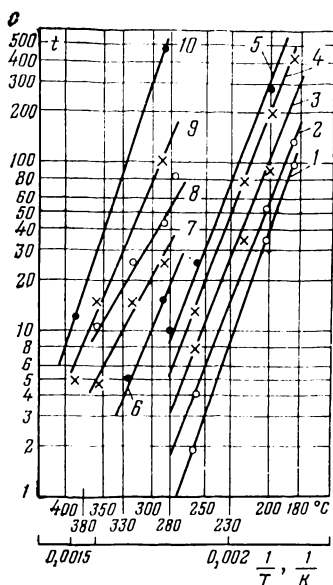


Рис. 7.29. Зависимость времени запечки от температуры при одном цвете эмаль-пленки.

1-5 — провода марки ПЭВ; 6-10 — провода марки ПЭТВ.

ции, накладываемой за один проход, ограничивающую скорость эмалирования, и тем самым создать условия для повышения скорости эмалирования. Кроме того, оптимизируя температурную кривую эмаль-печи, а также повышая до известного предела температуру в эмаль-печи и печи отжига, можно обеспечить необходимый нагрев проволоки при повышенной скорости.

Типовые технологические режимы производства эмалированных проводов включают в себя технические требования к применяемым материалам, оборудованию и оснастке. В частности, при эмалировании на агрегатах новой серии обязательным требованием является наличие аппаратуры для регулирования и поддержания постоянной скорости эмалирования, для регулирования контроля и поддержания температуры эмаль-печи в заданных пределах, устройства для распределения температуры по длине, ширине и высоте камеры печи. Печь отжига для медной проволоки должна быть снабжена устройством для равномерного распределения перегретого водяного пара внутри камеры печи; затворами, предназначенными для предотвращения попадания воды внутрь камеры печи и падения давления в печи; ванной для охлаждения проволоки; устройством сушки провода.

Для отжига твердой медной проволоки применяются печи трубчатого или камерного типа. Трубчатые печи отжига применяются на горизонтальных эмаль-агрегатах новой серии, в которых эмалируется проволока диаметром до 0,29 мм. В вертикальных эмаль-агрегатах используются камерные печи отжига, в которых избыточное давление водяного пара должно составлять 1,08—1,2 кПа. Охлаждение проволоки после отжига на вертикальных эмаль-агрегатах должно производиться конденсатом или водой, а сушка — подогретым воздухом. Охлаждение проволоки после отжига на горизонтальных эмаль-агрегатах производится в воздушной среде.

В типовой технологии указываются также габариты тары, на которую производится прием готового провода. Кроме того, фиксируются основные моменты, связанные с подготовкой эмаль-агрегата к работе. В частности, указывается способ заправки: например, вертикальные эмаль-агрегаты новой серии заправляются проволокой через калибры четырьмя группами по пять линий каждая пучком (от шести до восьми проходов на каждую

линию) при скорости 5—8 м/мин. Во время заправки эмаль-печи проволокой стоки лаковой ванны должны быть открыты, краны питания закрыты. Перед подачей лака в ванну стоки ванны должны быть закрыты, а краны питания соответственно открыты. Заправка эмаль-агрегатов старой серии при эмалировании с помощью неразъемных калибров производится индивидуально для каждой эмалируемой проволоки. Проволока с бухты или катушки, установленной на отдатчике, направляется через протирки, смоченные растворителем, на соответствующий ролик или канавку тягового вала в нижней части печи. Затем проволока пропускается через печь на соответствующую канавку верхнего ролика, с верхнего ролика — вниз на следующую канавку нижнего ролика с целью пропускания через второй калибр и т. д. до получения установленного производственной инструкцией для данного агрегата числа проходов. Последняя проволока из печи направляется через ролик раскладки на приемную катушку. Проволока должна проходить через печь на соответствующую канавку нижнего ролика с целью пропускания через второй калибр и т. д. до получения числа проходов, установленного производственной инструкцией для данного агрегата. Последняя проволока из печи направляется через ролик раскладки на приемную катушку. Проволока должна проходить через печь вертикально по соответствующим канавкам направляющих и промежуточных роликов, прорезям гребенок ванн и канавкам тяговых колес.

Заправка проволоки при эмалировании методом погружения, фитильным методом или с помощью фетровых обжимов аналогична, но она более проста, так как не нужно пропускать проволоку через калибры.

Фитили в соответствии с производственной инструкцией для данного агрегата следует сложить слоями таким образом, чтобы смачивающая проволоку часть фитилей была строго перпендикулярна проволоке и все слои фитиля были ровно уложены.

Фетры для обжимов должны быть вырезаны точно по размерам прижимных пластин и вложены в эти пластины строго параллельно проволоке. Степень зажатия проволоки фетром регулируется с помощью винтов.

Заправка многоходовых эмаль-печей типа Г-20 при эмалировании масляно-смоляными лаками, как и эмаль-агрегатов новой серии, групповая, т. е. первые проволоки

со всех ходов направляются на соседние канавки направляющих роликов, все вторые — на следующие канавки и т. д.

Заполнение эмаль-лаком основного бака в эмаль-агрегатах новой серии, как правило, производится от централизованной системы. Бак должен быть оснащен регулятором уровня и приводным клапаном для автоматической подачи лака к устройству для нанесения его на проволоку через фильтры с размером ячейки 25 мкм и через устройство для подогрева.

В типовой технологии указываются также маршруты калибров и рабочие температуры в эмаль-печи (по зонам) и печи отжига. Например, при изготовлении эмалированных проводов типов ПЭМ-1 и ПЭМ-2 с поливинилформалеовой изоляцией на вертикальных эмаль-агрегатах новой серии температура в печи отжига по всей ее длине не должна превышать 480°C, температура в камере каталитического сжигания должна быть не более 560°C, температура нижней зоны эмаль-печи должна составлять 220—280°C в зависимости от диаметра эмалируемой проволоки, а температура верхней зоны эмаль-печи должна быть 320—380°C для номинальных диаметров проволоки 0,31—0,96 мм и 380—440°C для номинальных диаметров проволоки 1,00—1,56 мм. В технологических картах фиксируются также линейная скорость эмалирования, количество проходов проволоки через лак и маршрут калибров при производстве проводов.

В технологических картах указываются также оптимальная температура лака в ванне (желательно  $45 \pm 5^\circ\text{C}$ ), положение шиберов вентиляции, рециркуляции и воздухопроводов установок каталитического сжигания, а также объем и методы контроля качества готовой продукции и правила техники безопасности при работе на эмаль-агрегатах.

Важным технологическим моментом при эмалировании на вертикальных агрегатах является обеспечение непрерывности процесса эмалирования путем соединения концов проволоки на отдающих катушках при их замене. Соединение концов проволоки диаметром более 1,50 мм производится встык на сварочных аппаратах с последующей зачисткой места сварки. Соединение концов проволоки диаметром менее 1,50 мм производится пайкой с помощью припоев, обеспечивающих прочное соединение проволоки и имеющих высокую электрическую про-



водимость и хорошие технологические свойства. К таким припоям относятся серебряные, медно-цинковые и медно-фосфористые припои. Пайка производится с использованием сварочных аппаратов для стыковой сварки. Допускается соединение концов проволоки диаметром более 0,70 мм встык сваркой с помощью сварочных аппаратов. Применение кислот при пайке концов проволоки не допускается.

Замена отдающих катушек с медной проволокой диаметром более 0,29 мм в вертикальных высокоскоростных эмаль-агрегатах новой серии должна производиться с помощью специального устройства — накопителя проволоки, позволяющего производить соединения концов проволоки при замене катушек без остановки эмаль-агрегата. Принцип действия накопителя проволоки показан на рис. 7.30.

Накопитель позволяет накапливать на промежуточном барабане часть проволоки с отдающей катушки. Затем во время схода проволоки с этого барабана к концу проволоки на отдающей катушке можно присоединить методом сварки начало проволоки со следующей отдающей катушки.

Для эмалирования алюминиевой проволоки используются те же эмаль-агрегаты, что и для эмалирования медной проволоки. Однако в связи с пониженной механической прочностью алюминия температура в печи при эмалировании снижается и, кроме того, в ряде случаев изменяется диапазон диаметров эмалируемой проволоки по сравнению с указанным в паспорте эмаль-агрегата для медной проволоки. Так, если на вертикальных агрегатах старой серии типов М-24 и СМО 0,19—16 эмалируется как алюминиевая проволока диаметром до 0,19 мм, так и медная, то на эмаль-агрегатах типа С-24

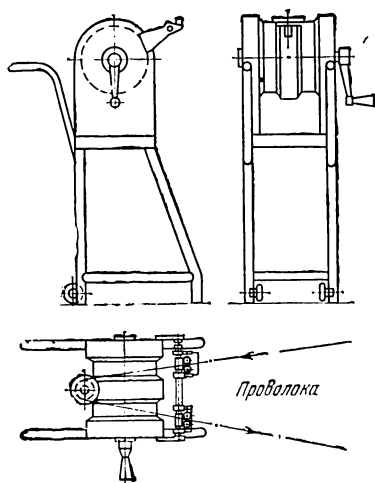


Рис. 7.30. Принципиальная схема устройства накопителя проволоки.

и СМО 0,41/16 рекомендуется эмалировать алюминиевую проволоку диаметром до 0,51 мм, а на эмаль-агрегатах типа Б-30 — до 2,44 мм. Для снижения усилий натяжения при эмалировании алюминия необходимо применять безынерционные отдающие устройства, а также легкоъемные поворотные ролики облегченного типа.

Эмалирование проволоки из сплавов высокого сопротивления принципиально не отличается от эмалирования медной проволоки, однако следует учитывать, что проволока из сплавов высокого сопротивления имеет на поверхности значительное количество дефектов (заусенцев, раковин, загрязнений и т. д.), и это, усложняя технологический процесс, требует повышенного внимания со стороны эмалировщика.

При эмалировании прямоугольной проволоки главное внимание следует обращать на качество применяемой медной проволоки, которая должна изготавливаться из скальпированной катанки или из катанки, полученной методом непрерывного литья и прокатки.

Изготовление эмалированных проводов с дополнительным термопластичным слоем производится с применением секционированных лаковых ванн (для основного лака и для лака, образующего термопластичный слой). Особенностью технологического процесса эмалирования в данном случае является усиленное охлаждение верхних поворотных роликов эмаль-агрегата, предотвращающее слипание готового провода на катушке.

Следует отметить, что как на отечественных кабельных заводах, так и за рубежом для обеспечения хорошей раскладки готового провода на катушке применяется смазка провода парафином или другими специальными составами. Такая смазка практически не влияет на работоспособность провода в составе изделия, за исключением особых случаев (например, когда изделие эксплуатируется в вакууме и возможное улетучивание смазки может привести к загрязнению контактов реле и т. д.).

### **7.3. ЭМАЛИРОВАНИЕ ИЗ РАСПЛАВА СМОЛЫ**

Обычная технология эмалирования проволоки рассчитана на применение эмаль-лаков, содержащих 60—85% растворителей. Растворители необходимы только для перевода лака в жидкое состояние при нанесении на проволоку, так как после наложения лаковой пленки рас-

творители испаряются в печи и разлагаются с помощью каталитических элементов на простейшие составляющие.

В случае отсутствия в агрегатах для эмалирования установки для каталитического сжигания отходящих газов растворители выбрасываются в окружающую атмосферу. Поэтому большой практический интерес представляет применение для наложения на проволоку изоляции составов, которые не содержат растворителей. В этом случае вязкотекучее состояние, необходимое для нанесения материала на проволоку, достигается не растворением пленкообразующего вещества, а его расплавлением. В результате эмалирования без применения растворителей улучшаются гигиенические условия работы в эмалировочных цехах, исключается загрязнение окружающей среды, экономятся дефицитные растворители, снижается пожароопасность этих цехов.

В отечественной практике эмалирование из расплава смолы применяется на эмаль-агрегатах типов С-24 и Б-30, в которых газовые ванны заменяются специальными ваннами с электрообогревом для нанесения расплава смолы. Основным типом смолы, которая наносится на проволоку из расплава, является смола марки ТС-1, получаемая переэтерификацией полиэтилентерефталата (лавсана). Кроме того, выпускаются провода с изоляцией на основе полиэфиримидной смолы, наносимой на проволоку без применения растворителей.

Применяемые для эмалирования из расплава смолы в твердом исходном состоянии не слипаются и хорошо измельчаются. Это позволяет без затруднений транспортировать их и загружать в ванну. В расплавленном состоянии при 140—180°C, т. е. рабочих температурах, указанные смолы не подвергаются физико-химическим изменениям; в то же время они обладают способностью переходить в неплавкое и нерастворимое состояние при повышенных температурах в печи эмалировочного агрегата и образовывать эмалевую изоляцию на проволоке с необходимыми механическими и электроизоляционными характеристиками.

Для нанесения расплавленной полиэфирной смолы на проволоку (медную или алюминиевую) применяются специальные ванны, конструкция одной из которых показана на рис. 7.31. Бункер А предназначен для загрузки и расплавления смолы. Приставка Б съемная; в ней рас-

полагаются калибры 1 и 2, с помощью которых производится наложение расплавленной смолы на проволоку. Ванна имеет электрообогрев, обеспечивающий поддержание нужной температуры расплава. Изолирующие приставки разделены на отдельные секции по числу ходов эмалируемых проволок.

Эмалирование из расплава на агрегате типа Б-30 производится за четыре прохода через ванну, так что могут использоваться все 32 приемные оси для катушек

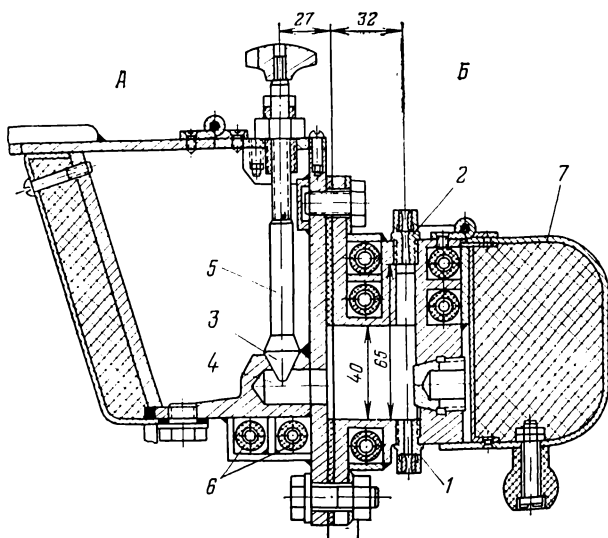


Рис. 7.31. Конструкция ванны для наложения на проволоку эмалевой изоляции из расплава смолы.

А — бункер; Б — изолирующая приставка; 1 — калибр нижний; 2 — калибр верхний; 3 — конусный кран; 4 — соединительный канал; 5 — шток; 6 — электронагреватели; 7 — теплоизоляционный кожух.

с проводом. Каждая секция сообщается с бункером посредством канала 4, перекрываемого при необходимости конусным краном 3 путем передвижения до упора штока 5. При заправке проволоки кран 3 перекрывается. Расстояние между верхним и нижним калибрами зависит от диаметра проволоки и составляет обычно 20—65 мм.

После нанесения слоя смолы на проволоку в печи агрегата происходит образование пространственной структуры в эмалевой изоляции. Температура расплава

смолы в рабочей части ванны эмаль-агрегата типа С-24 составляет  $175 \pm 15^\circ\text{C}$ , типа Б-30— $200 \pm 10^\circ\text{C}$ , при этом температура расплава в самой ванне должна быть на  $30\text{—}50^\circ\text{C}$  ниже температуры расплава в рабочей части ванны.

В процессе эмалирования ванна должна заполняться смолой не менее чем до  $\frac{3}{4}$  ее объема. Скорости наложения на проволоку диаметром  $0,38\text{—}1,56$  мм полиэфирной изоляции из расплава смолы ТС-1 находятся в пределах  $3,5\text{—}9,5$  м/мин.

Полученные по вышеуказанному методу эмалированные провода по своим свойствам не уступают аналогичным проводам, изоляция которых наносится из растворов эмаль-лаков.

## **7.4. СОВМЕЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ВОЛОЧЕНИЯ И ЭМАЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ**

Совмещение различных операций в кабельном производстве эффективно обычно в тех случаях, когда скорости совмещаемых операций близки друг к другу. Поэтому совмещение волочения и эмалирования проволоки на первый взгляд невыгодно, так как скорости волочения достигают  $3000$  м/мин, в то время как предельные скорости эмалирования примерно в  $10$  раз меньше. Однако в ряде случаев совмещение волочения и эмалирования в производстве эмалированных проводов оказалось эффективным как с точки зрения экономики, так и с точки зрения повышения качества выпускаемой продукции. Такое совмещение впервые было предложено английской фирмой «Би-Ай-Си-Си» и затем использовано в ряде других стран.

Обычная технология изготовления эмалированных проводов предполагает последовательное волочение проволоки на машинах грубого, среднего и тонкого волочений с последующим эмалированием на агрегатах, оборудованных кроме эмаль-печей печами для предварительного отжига. В ряде случаев для обеспечения требуемого качества проводов вводится промежуточный отжиг между операциями среднего и тонкого волочения.

Основные моменты новой технологии заключаются в следующем. После грубого и среднего волочений производится отжиг проволоки на катушках. Затем проволока, имеющая диаметр несколько больше, чем диаметр готового эмалированного провода, поступает к эмаль-агрегату. Эмаль-агрегат имеет специальные волочильные приставки, которые располагаются на месте печи отжига, и на них производится волочение до конечного размера. Число волочильных приставок равно числу эмалируемых проволок. Конструкции волочильных приставок могут быть различны в зависимости от конструкции эмаль-агрегатов. В частности, фирма «Би-Ай-Си-Си» для производства эмалированных проводов диаметром  $0,3\text{—}1,5$  мм при-

меняет 16-ходовые эмаль-агрегаты, каждый из которых имеет четырехходовые приставки для волочения. Для получения с точки зрения качества оптимальных результатов уменьшение сечения на операции волочения должно составлять 30—75%, причем за один проход через волоку сечение может уменьшаться в пределах до 21%. Число волок в приставке — от двух до пяти. Провод этих приставок, как правило, выполняется на постоянном токе. В настоящее время подобные приставки используются не только для вертикальных, но и для горизонтальных эмаль-агрегатов. В основу конструирования приставок горизонтального типа часто положена максимальная простота движения проволоки через агрегат. Поэтому все пять волок этой приставки обычно располагаются в одну линию без традиционных для волочильных машин изгибов. Известны конструкции приставок для горизонтальных эмаль-агрегатов, в которых первый тяговый барабан, как и остальные, является общим для всех проволок. При этом соотношение скоростей двух соседних тяговых барабанов различно с целью обеспечения различной степени обжатия проволоки в волоках.

В частности, горизонтальная приставка фирмы «Би-Ай-Си-Си» рассчитана на 18 ходов и предназначена для эмаль-агрегатов, выпускающих провода в диапазоне диаметров от 0,05 до 0,25 мм. Максимальная рабочая скорость — до 250 м/мин. Число волок, приходящихся на один ход, увеличено до девяти.

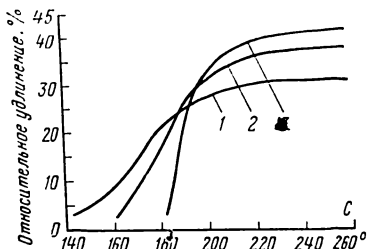
Для всех типов приставок используются обычные волокнистые и стандартные волочильные эмульсии, применяемые в производстве проволоки, предназначенной для последующего эмалирования. В большинстве случаев не требуется синхронизировать работу волочильной приставки и приемного устройства эмаль-агрегата. Однако в этом случае, естественно, скорость волочильной приставки должна быть стабильной и изменяться в процессе работы в пределах не более  $\pm 2\%$ . Именно поэтому привод приставки выбирается на постоянном токе.

Рассмотрим преимущества предложенной технологической схемы производства эмалированных проводов, основанной на совмещении операций волочения и эмалирования. Прежде всего, в связи с сокращением числа размеров проволоки, предназначенной под эмалирование, в каждом диапазоне размеров до одного-двух уменьшается общее число используемых волочильных машин, а следовательно, уменьшаются необходимые производственные площади и капитальные затраты на строительство. В связи с тем, что в приставках скорости волочения невысоки (они определяются скоростью эмалирования), резко снижается износ волок и повышается стабильность диаметра получаемой проволоки. Пониженная скорость волочения снижает нагартовку проволоки, и термообработка в эмаль-печи становится достаточной для обеспечения необходимой мягкости готового провода без предварительного нагрева в печах отжига, совмещенных с эмаль-агрегатом. Поэтому становится возможным разместить приставки вместо печей отжига, т. е. практически сохранить существующие размеры эмаль-агрегатов. В этом случае достигается также экономия электроэнергии, так как мощность привода приставки много меньше мощности печи отжига, совмещаемого с эмалированием. Одновременно упрощается процесс соединения различных длин медной проволоки перед эмаль-агрегатом в связи с тем, что скорость движения проволоки перед приставкой мала (примерно в 2 раза ниже скорости эмалирования).

С точки зрения качества эмалированных проводов следует отметить заметное повышение однородности свойств, повышение относительного удлинения и некоторое повышение механической прочности без повышения жесткости. Полученная продукция в большей степени отвечает требованиям механизированной намотки статоров электрических машин, чем эмаль-провода, изготовленные по

Рис. 7.32. Зависимость относительного удлинения эмалированных проводов диаметром 0,5 мм от температуры отжига при различных технологических схемах производства.

1 — волочение без промежуточного отжига; 2 — волочение с промежуточным отжигом; 3 — совмещенный процесс волочения и эмалирования.



стандартной технологии. Такое изменение характеристик эмаль-проводов объясняется ориентацией кристаллов меди в проволоке и меньшим зерном в ее структуре.

При совмещенном процессе волочения и эмалирования относительное удлинение проводов в среднем увеличивается на 15%, упругость снижается на 10%, разрывная прочность увеличивается на 25%. Сравнительные характеристики эмаль-проводов, полученных по стандартной технологии, при которой процессы волочения и эмалирования совмещаются, приведены в табл. 7.2. Влияние от-

Таблица 7.2

**Сравнение относительного удлинения и упругости эмалированных проводов, изготовленных по различным технологическим схемам**

Диаметр, мм	Стандартная технология		Совмещение волочения и эмалирования	
	Удлинение, %	Упругость	Удлинение, %	Упругость
0,25	28—33	44—49°	35—38	37—42
0,355	30—36	41—46	37—42	34—39
0,50	30—36	37—42	37—42	32—37
0,63	33—36	39—44	38—42	32—37
0,80	33—36	35—39	38—42	29—33
1,00	35—38	36—40	38—42	29—34
2,32	35—38	31—35	38—42	36—30

жига в течение 5 мин при различных температурах на относительное удлинение эмаль-проводов диаметром 0,5 мм при разных технологических схемах производства, иллюстрирующее преимущества совмещения волочения и эмалирования, показано на рис. 7.32.

## НЕТИПОВЫЕ СПОСОБЫ НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

### 8.1. ИЗОЛИРОВАНИЕ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ПОРИСТОЙ БУМАЖНОЙ МАССОЙ

**Принцип действия и основные узлы бумаго-массного изолировочного агрегата.** Основное отличие технологии изолирования жил городских телефонных кабелей бумажной массой от технологии изолирования бумажной лентой заключается в том, что вместо изготовления полотна бумаги, последующей резки его на узкие ленты и обмотки проволоки этими лентами на проволоку накладывается методом осаждения из водной суспензии сплошной цилиндрический слой рыхлой бумажной массы, состоящей из волокон целлюлозы. Ввиду того что при таком способе изолирования не образуется воздушная прослойка между токопроводящей жилой и изоляцией, для сохранения значений электрической рабочей емкости кабеля в требуемых пределах в сплошном бумаго-массном слое искусственно создается большое количество пор, которые заполняются воздухом.

Агрегат для наложения бумажной массы состоит более чем из десяти различных устройств и позволяет изолировать одновременно до 60 жил. Схема основной, изолировочной части такого агрегата изображена на рис. 8.1. Медные проволоки сходят с катушек, установленных на отдающем устройстве 1, проходят через очистное устройство 2 и поступают в ванну с сетчатым цилиндром 3. В этой ванне, наполненной водной суспензией бумажной массы, точнее, на боковой сетчатой поверхности вращающегося в ванне цилиндра, происходит осаждение бумажной массы на каждой из непрерывно движущихся проволок. Проволоки с образовавшимся на них слоем бесформенной бумажной массы пропускаются через систему отжимных прессов 4, служащих для удаления из бумаго-массной изоляции значительного количества влаги. Далее изолированные жилы проходят сквозь гладильный механизм 5 при помощи которого изоляции придается цилиндрическая форма, красильное устройство 6 и поступают на сушку в электрическую печь проходного типа 7. Высушенные изолированные жилы по-



средством тяговых суконов 8 подают-ся на расположенное под су-шильной печью приемное устрой-ство 9.

**Приготовление бумажной массы.** Технологический процесс изолиро-вания жил начинается по существу с приготовления бумажной массы, сырьем для которой служит наибо-лее жесткая разновидность сульфат-ной целлюлозы, так называемая крафт-целлюлоза, отличающаяся высокой механической прочностью. Бумажной массой называется смесь волокон целлюлозы с большим ко-личеством воды. Сплошной слой бу-маго-массной изоляции на проволо-ке образуется в результате перепле-тения и сцепления отдельных воло-кон между собой. Как сила сцепле-ния волокон между собой, так и степень адгезии бумаго-массной изоляции к медной жиле зависят от длины волокон и состояния их по-верхности. Длина волокна крафт-целлюлозы составляет 2—4 мм; для обеспечения достаточной механиче-ской прочности бумаго-массной изо-ляции волокна целлюлозы должны быть укорочены до 1—2 мм. Подоб-ное измельчение волокон достига-ется посредством их размола в во-дяной среде. Сущность размола за-ключается в разрывании и разреза-нии волокон целлюлозы и одновре-менном их раздавливании и рас-щеплении. Наряду с измельчением происходит набухание волокон за счет поглощения ими воды, в ре-зультате чего волокна становятся мягче и эластичнее.

В отечественной практике при-меняются две технологические схе-мы приготовления бумажной массы.

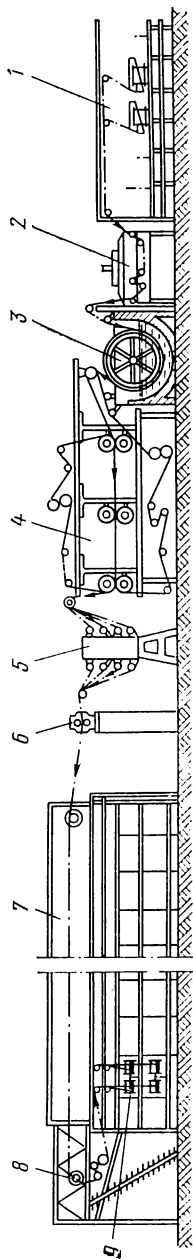


Рис. 8.1. Схема изолировочной части бумаго-массного агрегата.

По первой из них размол волокон целлюлозы производится в устройстве циклического действия, так называемом ролле (рис. 8.2), который представляет собой открытую железобетонную ванну 1 овальной формы вместимостью 5—8 м<sup>3</sup>. Наклонное дно ролла вблизи его задней стенки образует возвышение, так называемую горку 2, служащую для создания разности уровней циркулирующей массы. Размалывающий механизм состоит из вращающегося рольного барабана 3 и неподвижной планки 4, снабженных стальными ножами толщиной 4—6 мм. Ванну наполняют водой и загружают листами целлюлозы и чистыми отходами кабельной бумаги. Волокнистый материал, попадая между ножами вращающегося барабана и неподвижной планки, расположенными под углом в 5—7° и действующими подобно ножницам, размельчается и одновременно захватывается ножами барабана, поднимается на высоту горки и перебрасывается через нее. Благодаря этому поддерживается разность уровней размалываемой массы за горкой и перед барабаном и, следовательно, непрерывная ее циркуляция. Проходя много раз между ножами и постепенно размельчаясь, волокна целлюлозы превращаются в однородную кашеобразную слизистую бумажную массу бурого цвета. Длительность размола массы в ролле 3—4 ч. Продольная перегородка 5 способствует циркуляции массы, клапаны 6 служат для выпуска размолотой массы.

Концентрация размолотой массы, т. е. отношение количества абсолютного сухого волокна целлюлозы (по массе) к количеству налитой в ролл воды, составляет 4—5%. Для облегчения последующей очистки массы и главным образом для обеспечения равномерного распределения волокон при осаждении их на поверхности изолируемых проволок необходимо в десятки раз уменьшить концентрацию волокна в массе, т. е. разбавить ее водой. Подобное разбавление производится не сразу, а в две стадии: сначала в мешальном баке, затем непосредственно перед очистными устройствами.

По окончании процесса размола готовая масса из ролла перекачивается в мешальный бак, куда добавляется также свежая вода. Концентрация бумажной массы снижается до 1,5—2%. Назначение мешального бака: во-первых, создать запас размолотой массы для обеспечения непрерывной работы изолировочной части агрегата, во-вторых, способствовать равномерному распределе-

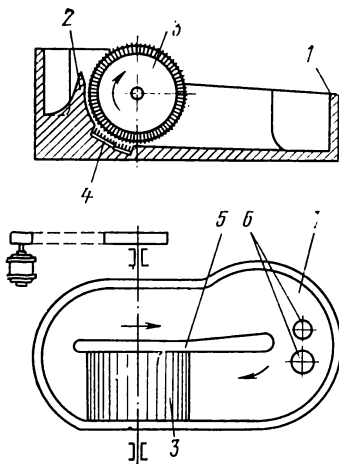
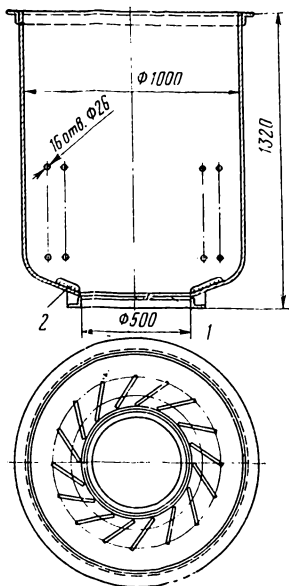


Рис. 8.2. Ролл для размола целлюлозы.

Рис. 8.3. Гидроразбиватель.



нию волокон целлюлозы в массе после разбавления ее водой. Последнее достигается при помощи непрерывно вращающейся лопастной мешалки, препятствующей также всплыванию легких и оседанию тяжелых волокон. В составе бумаго-массного агрегата должно быть не менее двух мешальных баков. В один поступает бумажная масса, а из другого в это же время производится непрерывная подача массы в изолировочную часть агрегата. Для равномерной подачи массы из мешального бака в торце его непрерывно вращается черпальное колесо с металлическими ковшами. Масса, выливающаяся из ковшей на лоток, направляется в смесительный желоб и далее в очистные устройства. В смесительный желоб возвращается также использованная в ванне сетчатого цилиндра, т. е. отдавшая практически почти все волокно, вода (так называемая обратная вода), благодаря чему здесь происходит окончательное разбавление свежей бумажной массы и снижение концентрации волокна с 1,5—2,0 до 0,15—0,25%.

Для очистки бумажной массы от различных механических примесей, например песка, металлических частиц, неразмолотых волокон, применяются песочница и узло-

ловитель. Песочница представляет собой наклонный бетонный или деревянный ящик с ребристым дном. При протекании массы по песочнице посторонние частицы постепенно оседают на дно. Действие цилиндрического узлоловителя с вибрирующей ванной основано на процеживании волокнистой смеси через вращающееся цилиндрическое сито. В качестве сита служит полый барабан с узкими продольными прорезями на боковой поверхности, вращающийся в ванне, куда непрерывно поступает масса, прошедшая песочницу. Хорошо размолотые, отделенные одно от другого волокна под действием вибрации ванны в горизонтальной плоскости проходят через щели внутрь барабана, а непромолотые волокна — узелки задерживаются и удаляются через специальный патрубок. Очищенная в узлоловителе масса готова к использованию.

По более современной схеме приготовление бумажной массы начинается в гидроразбивателе. Гидроразбиватель — это стальной открытый цилиндр высотой 1,5 м и диаметром 1 м (рис. 8.3), в днище которого вращается диск 1 диаметром 0,5 м. Диск сидит на валу, расположенном под цилиндром и приводимом в движение от электродвигателя. В неподвижной части днища укреплены стальные ножи 2. Гидроразбиватель, как и ролл, загружают листами целлюлозы и отходами кабельной бумаги и наполняют примерно наполовину водой. При вращении диска 1 благодаря циркуляции воды происходит разрыв, раздробление листов целлюлозы и бумаги, ударяющихся о неподвижные ножи 2. Размол (укорочение) волокон при этом не производится. Полученная масса с концентрацией волокна 4—5% отводится из гидроразбивателя через перфорированное отверстие в днище в переливной короб, откуда поступает в предварительное очистное устройство. Действие очистителя высокой концентрации, называемого гидроциклоном или водоворотной ловушкой, основано на различии плотностей волокна целлюлозы и примесей. Поступающая в цилиндрической формы очиститель масса ускоряется лопатками ротора и получает спиральное водоворотное движение. Под действием центробежной силы более тяжелые, чем волокнистая масса, примеси отбрасываются к стенке очистителя и передаются в отдельную зону, откуда поступают в грязесборник. Очищенная масса подается в мешальные баки.

Размол волокон целлюлозы осуществляется в конических мельницах непрерывного действия. Мельница (рис. 8.4) состоит из неподвижного чугунного конической формы корпуса-статора 1 и вращающегося внутри него полого чугунного ротора 3, также имеющего коническую форму. На внутренней поверхности статора и наружной боковой поверхности ротора укреплены стальные ножи 2 и 4, расположенные в осевом направлении. Бумажная масса, подаваемая насосом, поступает через выпускной патрубок 6 со стороны узкого конца, проходит

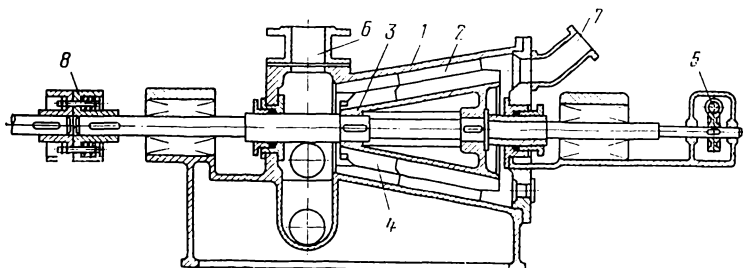


Рис. 8.4. Коническая мельница.

под действием напора жидкости между размалывающими ножами и удаляется через выпускной патрубок 7 со стороны широкого конца. Продвижению массы способствует центробежная сила, развиваемая при вращении ротора и возрастающая за счет разности диаметров широкого и узкого концов мельницы. Ротор приводится в движение электродвигателем через зубчатую или эластичную муфту 8. Специальным механизмом 5 со шкалой осуществляется осевое перемещение ротора, что необходимо для регулирования расстояния между размалывающими ножами ротора и статора.

Предварительно раздробленная в гидроразбивателе целлюлоза размалывается, проходя через мельницу в течение 3—5 с. Частота вращения ротора около 500 об/мин. Сочетание гидроразбивателя с конической мельницей обеспечивает в несколько десятков раз большую производительность по сравнению с роллом.

Размолотая масса подается в напорный бак и оттуда — для окончательной очистки — в уловитель. На пути в уловитель масса разбавляется оборотной во-

дой, поступающей из специального бака, до концентрации 0,15—0,25%.

Узловловитель применяется либо с вибрирующей ванной, либо так называемого закрытого типа. Последний имеет неподвижное цилиндрическое сито. Внутри сита вращается ротор с лопастями-скребками, которые очищают отверстия сита от волокон и узелков. В верхнюю часть корпуса узловловителя по патрубку под напором подается масса. Опускаясь вниз, масса поступает внутрь сита и под действием напора выходит через отверстия сита наружу. Очищенная масса отводится по патрубку в питательный бак. Перепад давлений на входе и выходе узловловителя 350 Па. Непромолотые отходы и загрязнения удаляются через желоб. Из питательного бака готовая масса подается в ванны сетчатых цилиндров изолировочных агрегатов.

**Наложение и формирование бумаго-массной изоляции.** Бумаго-массная изоляция начинает образовываться в ванне сетчатого цилиндра, куда одновременно с бумажной массой непрерывно поступают отожженные медные проволоки. Последние, сходя с отдающих катушек, проходят сначала устройство химического или электрохимического обезжиривания в щелочном растворе. Непосредственное покрытие проволок волокнами бумажной массы происходит на боковой поверхности полого сетчатого цилиндра, вращающегося в ванне. Основу сетчатого цилиндра составляет стальной сварной опорный каркас типа беличьей клетки, на который насажены с равномерными интервалами кольца из медной проволоки (рис. 8.5,а).

Число медных колец должно быть на одно больше количества одновременно изолируемых проволок. Следовательно, на сетчатом цилиндре отечественного 60-ходового агрегата МИК-60 насажено 61 кольцо. Поверх колец натягивается бронзовая или латунная сетка. Части сетки, расположенные над медными кольцами, закрашивают лаком, а части, приходящиеся на промежутки между кольцами, вдавливают внутрь, придавая им форму канавки (желобка). Таким образом, на боковой поверхности цилиндра образуется 60 сетчатых канавок, свободно пропускающих воду и разделенных медными кольцами. Сетчатый цилиндр 2 вращается в подшипниках, смонтированных в стенки стальной ванны 1 (рис. 8.5,б). Бумажная масса подается по трубе 3 в предварительный

отсек 4 и оттуда переливается в ванну. Бандажи на обоих концах сетчатого цилиндра препятствуют попаданию массы из ванны во внутреннюю полость цилиндра помимо просачивания через его боковую поверхность.

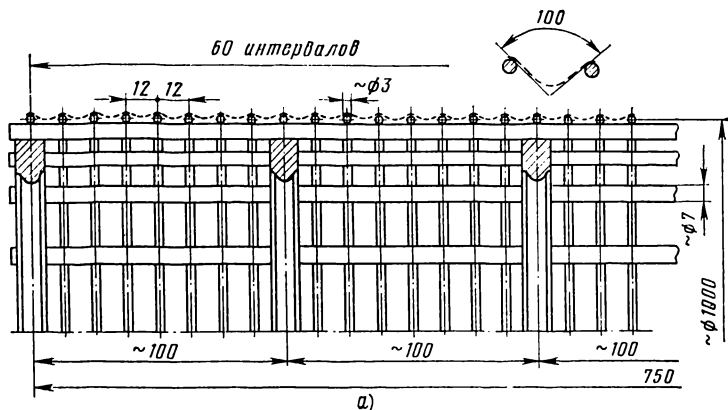


Рис. 8.5. Сетчатый цилиндр.  
а — каркас; б — схема расположения в ванне.

Проволоки 6, прошедшие очистное устройство, направляются каждая в определенную канавку поверхности цилиндра. Увлекаемые силой трения, развивающейся при вращении цилиндра, проволоки огибают цилиндр, соприкасаясь с его поверхностью на протяжении почти

полного оборота. В том месте, где проволоки впервые касаются сетчатой поверхности цилиндра, начинается также просачивание воды сквозь сетку внутрь цилиндра. При этом волокна массы оседают на поверхности сетчатых канавок, а также налипают со всех сторон на расположенную в канавке проволоку.

Направления движения массы в ванне и вращения сетчатого цилиндра совпадают. В точке схода проволоки с обволакивающей их бумажной массой 7 отрываются от сетчатой поверхности цилиндра и принимаются двумя бесконечными шерстяными сукнами (сначала только нижним, а затем также и верхним), передающими их в прессовую часть агрегата.

Карманы, имеющиеся на торцевых стенках ванны, служат для приема из внутренней полости цилиндра просочившейся сквозь сетчатые канавки воды, отфильтрованной от бумажных волокон, осевших на сетке; это так называемая оборотная вода, уровень которой внутри цилиндра регулируется с помощью наборных перегородок 5, выполненных из деревянных планок. Обратная вода стекает по трубам в специальный сборник, откуда непрерывно в смесительный желоб, где ею разбавляется свежая, поступающая из мешальных баков бумажная масса. Для смывания остающихся на сетке волокон служат трубы 8, укрепленные параллельно оси цилиндра и имеющие ряд отверстий, через которые на канавки сетки направляется сильная струя воды.

Основное назначение прессов — удаление из бумаго-массной изоляции значительной части влаги, содержание которой в изоляции, покрывающей поверхность проволок после их схода с сетчатого цилиндра, достигает почти 95% ее общей массы. Каждый из трех отжимных прессов, часто называемых гауч-прессами, состоит из двух вращающихся чугунных обрешиненных валов: верхнего и нижнего, между которыми и проходят проволоки во влажной бумаго-массной изоляции, увлекаемые двумя бесконечными сукнами. Обезвоживание изоляции происходит благодаря давлению верхнего вала, которое может регулироваться посредством системы рычагов с грузами.

Бесконечные шерстяные, так называемые «мокрые» сукна помимо функции транспортировки покрытых изоляцией жил между прессовыми валами поглощают влагу, отжимаемую из бумажной массы прессами. Для регулирования положения сукон, а также их натяжения



служат ручные сукноправки и сукнонатяжки, представляющие собой системы валиков и передач. Под давлением отжимных прессов изоляция сплющивается и приобретает очертания бумажной полоски шириной 5—6 мм, в которой заключена проволока.

После прохождения прессовой части изолированные жилы направляются в гладильный механизм, где процесс формирования бумаго-массной изоляции завершается пропуском жил сквозь быстровращающиеся гладилки. Гладилка представляет собой винтообразный калкбр (рис. 8.6) с входным и выходным отверстиями.

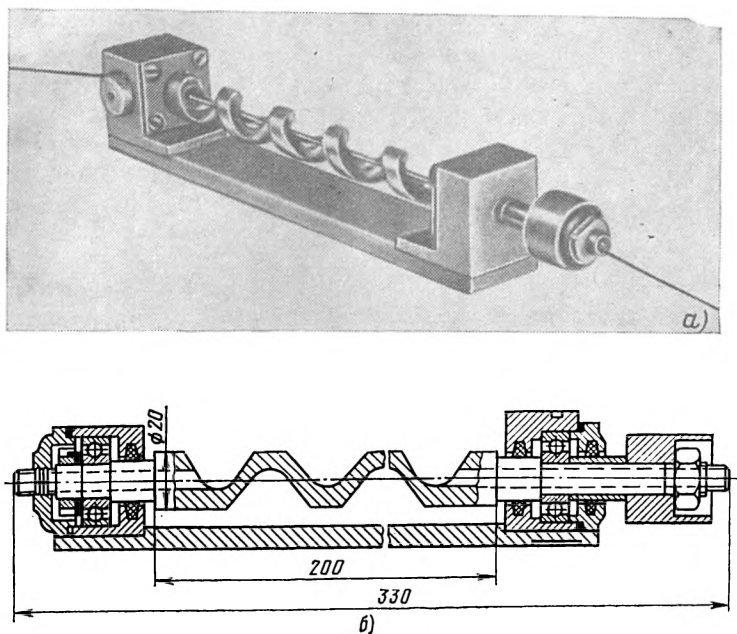


Рис. 8.6. Винтообразная гладилка.

*а* — общий вид (в центре гладилки проходит изолированная проволока); *б* — продольный разрез.

по внешнему виду напоминающий червяк и вращающийся в шариковых подшипниках вокруг изолированной жилы, как вокруг оси, с частотой 3000—6000 об/мин, слегка касаясь при этом слоя изоляции. За счет легкого трения при столь быстром вращении гладилки ее вну-

тренные хромированные поверхности завальцовывают края изоляционной бумаго-массной полоски вокруг проволоки, и, таким образом, изолированной жиле придается цилиндрическая форма. Одновременно достигается равномерность радиальной толщины изолирующего слоя.

Расцветка бумаго-массной изоляции осуществляется либо добавлением красителя в мешальные баки, либо нанесением краски на уже изолированную жилу, что предпочтительнее. Красильное устройство представляет собой ванну с краской и два валика. Нижний гладкий валик, погруженный в ванну, подает краску на верхний печатающий валик. Верхний валик, вращающийся со скоростью, соответствующей линейной скорости изолирования жил, своими выступающими частями снимает краску с нижнего валика и наносит ее на изоляцию жил, проходящих под ним. Красильное устройство устанавливается после гладильного механизма перед сушильной печью.

Прошедшая гладильный механизм изоляция все еще содержит значительный процент влаги (около 70% по массе) и ее необходимо высушить до нормальной 6—8% -ной влажности. Сушка изолированных жил производится в электрической печи проходного типа. Весьма существенное значение имеют правильный выбор и распределение температур сушки по зонам печи. Для получения высококачественной изоляции, обладающей малой диэлектрической проницаемостью, сушильная печь по своей длине должна иметь три различные температурные зоны. Проволока со слоем сырой изоляции попадает в зону наивысшей температуры, порядка 700—800°C. При столь высокой температуре вода, содержащаяся в изоляции, очень быстро нагревается, закипает и испаряется. Сплошной слой бумажной массы в местах выхода пузырьков пара на поверхность разрывается и в изоляции образуется большое количество мельчайших воздушных пор.

Для закрепления пористой структуры служит вторая температурная зона. Так как в нее попадают жилы уже с менее влажной изоляцией, то во избежание подгорания последней температура во второй зоне снижена до 500—600°C. Далее, проходя через третью температурную зону (300—400°C), изолированная жила окончательно высушивается. Температура в каждой зоне печи поддерживается автоматически при помощи терморегуляторов.

Тяговое устройство, состоящее из двух бесконечных сухих сукон, натянутых на валики, обеспечивает прохождение изолированных жил через гладильный механизм и сушильную печь. Приемное устройство находится под сушильной печью, катушки расположены по обе стороны приемного устройства.

На некоторых отечественных агрегатах МИК-60 изолированные жилы, сошедшие с тяговых сукон, сразу же скручиваются в пары (за счет вращения специально сконструированной легкой рамки) и затем уже поступают на приемные катушки, число которых в этом случае равно 30. Благодаря тому, что операция скутки в пары как бы встраивается в операцию изолирования жил при сохранении неизменной линейной скорости процесса, трудоемкость совмещенных операций снижается по сравнению с суммарной трудоемкостью отдельных операций.

**Технологический режим изолирования.** Процесс изолирования жил бумажной массой состоит из нескольких разнородных основных и вспомогательных операций.

Технологию образования бумаго-массной изоляции характеризуют: состав бумажной массы; качество, т. е. помол бумажной массы; концентрация волокон целлюлозы на различных стадиях процесса; толщина изоляционного слоя на жиле; линейная скорость изолирования и температуры сушки изоляции.

Выше говорилось, что сырьем для бумажной массы служат целлюлоза и отходы кабельной и телефонной бумаги. Соотношение обеих компонент может колебаться от 30 : 70 до 70 : 30. Степень пористости бумаго-массной изоляции зависит от степени помола бумажной массы. О последней судят по числу градусов помола, определяемому посредством известного аппарата Шоппер—Риглера. Помол от 0 до 30° Ш—Р, соответствующий незначительному расщеплению и укорачиванию волокон, называют тощим, а помол свыше 60° Ш—Р, т. е. со значительным расщеплением и укорачиванием волокон, — жирным. При повышении жирности массы ее пористость резко падает. Нормальным (с учетом механических характеристик изоляции) считается тощий помол в 25—35° Ш—Р.

Представление о нормальной концентрации бумажной массы в ходе процесса изолирования дает рис. 8.7. Физическая роль воды в технологическом цикле заключа-

ется в транспортировании волокон целлюлозы на подготовительных стадиях и в стимулировании процесса осаждения волокон на проволоках в ванне сетчатого цилиндра. Толщина слоя изоляции определяется количеством волокон целлюлозы, осевших в единицу времени на поверхности проволоки, проходящей по канавке сетчатого цилиндра. Следовательно, толщина изоляции зависит как от линейной скорости изолирования, так и от концентрации бумажной массы в ванне сетчатого цилиндра.

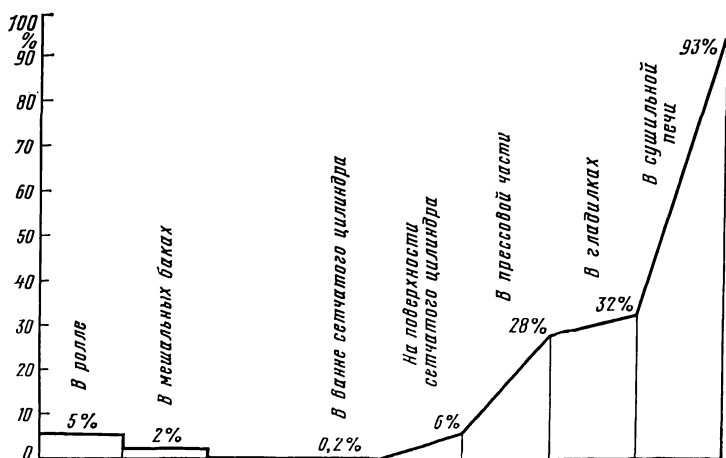


Рис. 8.7. Изменение концентрации бумажной массы на различных стадиях технологического процесса.

Линейная скорость изолирования для проволок данного диаметра постоянна. Регулирование толщины изоляции производится путем изменения количества массы, подаваемой в единицу времени в ванну сетчатого цилиндра.

Температурный режим сушки был приведен выше. Максимальная линейная скорость изолирования зависит от мощности сушильной электропечи. Суммарное количество теплоты, необходимое для сушки жил, складывается из затрат теплоты на нагрев медной проволоки  $Q_M$ , бумаго-массного волокна  $Q_{БМ}$  и воды  $Q_В$  до  $100^\circ\text{C}$ , а также на испарение воды  $Q_{исп}$  и перегрев полученного пара  $Q_{п.п.}$ . Количество теплоты, кДж, затрачиваемой на нагрев какого-либо вещества, рассчитывается по известной формуле:

$$Q = Mc(t - 20^\circ),$$

где  $\dot{M}$  — масса материала, кг;  $c$  — удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С);  $t$  — температура нагрева, °С.

Следовательно, количество теплоты, необходимое для нагрева 1 м изолированной жилы, кДж/м, равно:

$$Q_{\text{ж}} = M_{\text{м}}c_{\text{м}}(100-20) + M_{\text{бм}}c_{\text{бм}}(100-20) + \\ + M_{\text{в}}(100-20) + M_{\text{в}}q_{\text{исп}} + M_{\text{в}}c_{\text{п,п}} \cdot 100,$$

где  $M_{\text{м}}$ ,  $M_{\text{бм}}$ ,  $M_{\text{в}}$  — соответственно массы проволоки, бумажной массы и воды, отнесенные к 1 м изолированной жилы;  $c_{\text{м}}$ ,  $c_{\text{бм}}$ ,  $c_{\text{п,п}}$  — удельные теплоемкости меди, бумаго-массной изоляции, перегретого пара;  $q_{\text{исп}}$  — теплота испарения.

Общее количество расходуемой теплоты (без учета потерь), кДж, зависит от числа одновременно изолируемых жил  $n$  и составляет:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{ж}}n.$$

Таким образом, если задана полезная мощность электропечи  $P$ , кВт, то с учетом того, что 1 кВт=1 кДж/с, линейная скорость  $v_{\text{л}}$ , м/мин, определяется из следующего выражения:

$$v_{\text{л}} = \frac{P \cdot 60}{Q_{\text{общ}}} = \frac{P \cdot 60}{Q_{\text{ж}}n}.$$

## 8.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ ПАР С ШАЙБОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Во всем мире стандартизованы так называемые среднегабаритные коаксиальные пары одного номинального размера 2,6/9,5 мм и получили распространение два варианта технологии изготовления этих пар с шайбовой полиэтиленовой изоляцией. Первый вариант предусматривает предварительное изготовление полиэтиленовых шайб и совмещенный процесс их насадки на внутренний проводник с одновременным наложением внешнего проводника, экранирующего и изолирующего покровов. По второму варианту производятся отдельные операции непосредственной отливки шайб на внутреннем проводнике и наложения внешнего проводника и указанных защитных элементов. При этом возможны либо циклическая отливка шайб одновременно на нескольких параллельно и периодически перемещающихся проволоках, либо непрерывная последовательная отливка шайб на одной непрерывно движущейся проволоке.

**Агрегат для изготовления коаксиальных пар методом насадки шайб** состоит из: отдающих устройств медной проволоки, являющейся внутренним проводником, и медной ленты, образующей внешний проводник; автомата для непрерывной насадки на внутренний проводник полиэтиленовых шайб; устройства для контроля правильности насадки шайб; системы калибров, формирующих из медной ленты трубчатый внешний проводник; обмотчиков для наложения стальных и бумажных лент; тягового и приемного устройств.

Шайбонасадочный автомат производит радиальный разрез полиэтиленовых шайб и насадку их с постоянным заданным шагом на внутренний проводник, который, сойдя с отдающей катушки, предварительно проходит выпрямляющее приспособление, представляющее собой систему вертикально и горизонтально расположенных роликов.

Автомат (рис. 8.8,а) состоит из двух загрузочных качающихся бункеров, двух вертикальных стоек с наклонными секторами и с каналами для прохождения шайб, двух горизонтально расположенных дисков с выступами, двух ножей для разрезания шайб по радиусу и двух пружинных толкателей для выталкивания шайб из каналов вертикальных стоек на вращающиеся диски. Каждый из бункеров 1 служит для создания запаса полиэтиленовых шайб с целью автоматической непрерывной подачи их к своему шайбонасадочному диску 8. Бункер представляет собой закрывающуюся крышкой коробку с продольной щелью в днище, через которую проходит наклонный сектор 2 вертикальной стойки 3. К нижней части бункера прикреплен шарнир 4 для осуществления качения бункера при возвратно-поступательном движении шатуна 5. В верхней грани неподвижного сектора профрезерована канавка шириной, несколько большей, чем толщина шайбы.

Полиэтиленовые шайбы засыпаются в бункер вручную. При движении бункера вниз часть шайб попадает в канавку сектора и под действием собственной тяжести скатывается в питающий канал 6 вертикальной стойки. Находящиеся в крайнем нижнем положении шайбы выталкиваются по одной из вертикального питающего канала посредством пружинного толкателя 7. Толкатель получает возвратно-поступательное движение в одну сторону за счет вращения кулачкового диска 9, расположенного под основным шайбонасадочным диском 8, и в другую сторону от воздействия пружины 10.

К волнообразной поверхности кулачкового диска 9 (см. также рис. 8.8,б) силой пружины 10 постоянно прижат ролик толкателя 7. При вращении кулачкового диска ролик, плавно перемещаясь по направлению к гребню, сдвигает толкатель в крайнее (левое) — холостое положение. При этом освобождается пространство под полостью питающего канала и нижняя шайба из него опускается на нижнюю планку 11 толкателя. При дальнейшем вращении кулачкового диска ролик толкателя, находящегося под воздействием

пружины, устремляется к основанию. Вследствие этого толкатель, переместившись в сторону диска насадки, своей верхней планкой 12 вталкивает шайбу в узкое пространство между выступами вращающегося шайбонасадочного диска. По выходе из вертикальной стойки шайба поддерживается нижней планкой толкателя. Расположенный ниже первого второй кулачковый диск 13 приводит в движение (посредством толкателя 14) кривошипно-шатунный механизм 15, каждое колебание которого вызывает одно качание загрузочного бункера. Вал шайбонасадочного и обоих кулачковых дисков приводится во вращение червячной парой: червяком 16 и шестерней 17.

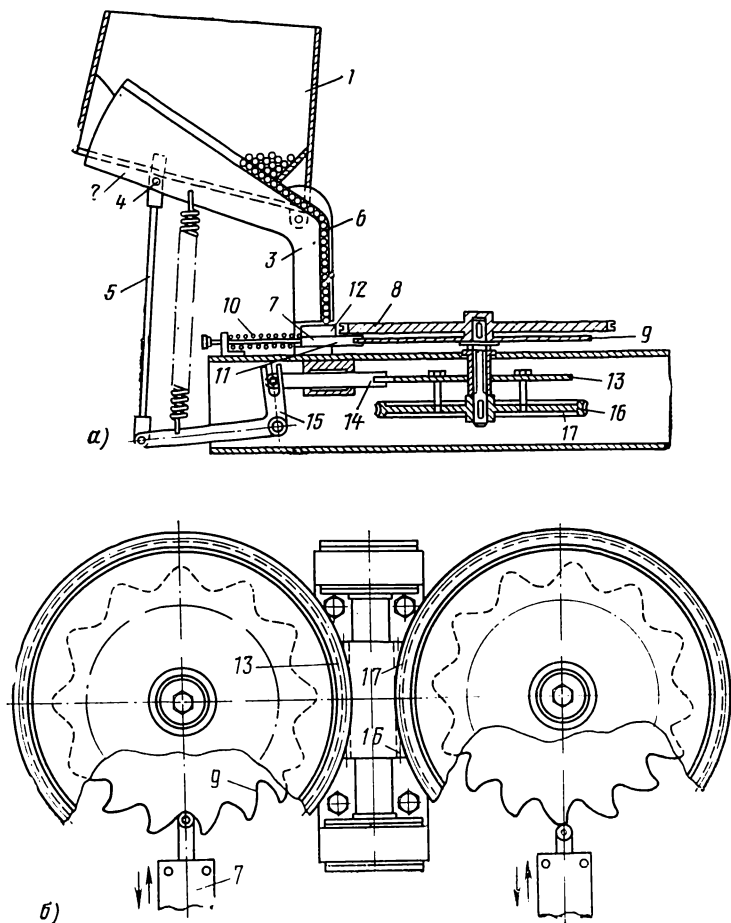


Рис. 8. Шайбонасадочный автомат.

а — общая схема; б — двигательный механизм толкателя (вид снизу).

По окружности каждого шайбонасадочного диска 1 (рис. 8.9) равномерно расположены длинные выступы высотой, равной диаметру шайбы, и рядом с ними — на расстоянии, равном толщине шайбы, столько же коротких выступов приблизительно вдвое меньшей высоты. В середине каждого из длинных выступов имеется прорез по ширине, несколько большая диаметра внутреннего проводника, предназначенная для того, чтобы при вращении диска выступы не задевали за проволоку. Прикрепленные к неподвиж-

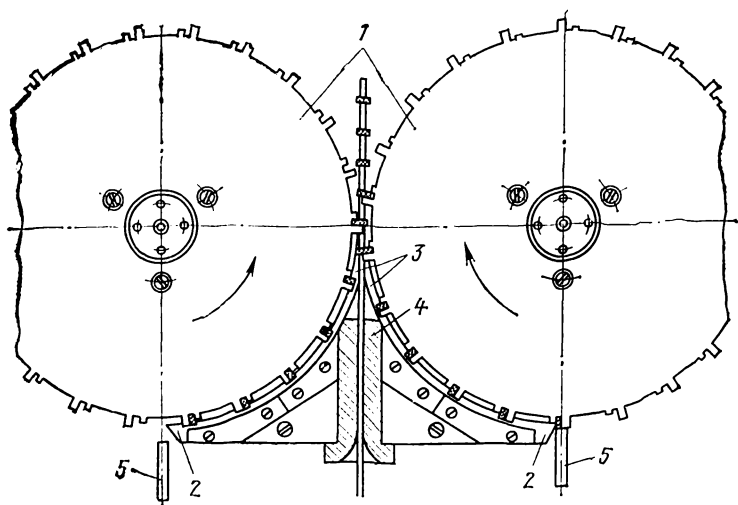


Рис. 8.9. Диски для насадки шайб и разрезные ножи (вид сверху).

ной планке ножи 2 в форме полудуг начинаются остриями, переходящими затем в утолщения, и заканчиваются направляющими 3, расширяющимися на концах до размера, равного диаметру проволоки.

Движущаяся с постоянной скоростью проволока попадает в калибр 4, упирающийся в выступы направляющих, которыми заканчиваются ножи. Диски, вращающиеся с одинаковой равномерной скоростью в противоположных направлениях, захватывают выступами шайбы, вытолкнутые толкателями 5 из питательных каналов, и поочередно подводят их к остриям ножей. Шайба попадает своим отверстием на острие ножа, прорезается по радиусу и продвигается вдоль ножа. На конце направляющей надрез шайбы расширяется до размера, равного диаметру внутреннего проводника, в результате чего шайба свободно надевается на проволоку, проходящую у конца направляющей. Шайба, сошедшая с направляющей, благодаря упругости полиэтилена плотно охватывает внутренний проводник.

Каждый из дисков насадки может одновременно нести  $n$  шайб. Следовательно, через  $1/n$  оборота диска на конце направляющей



и является новая шайба. Рабочая длина окружности диска подобрана с таким расчетом, чтобы  $1/n$ -я часть его оборота соответствовала удвоенному шагу насадки шайб ( $2h$ ). Окружная скорость диска по рабочему диаметру соответствует линейной скорости движения проволоки, поэтому через  $2h$  миллиметров с каждого диска на проволоку надевается новая шайба. Так как дисков насадки два, то расстояние между соседними шайбами, насаженными обоими дисками поочередно, соответствует принятому шагу насадки  $h$ .

Короткие выступы служат опорами для проволоки в момент насадки на нее шайбы. Вследствие своей упругости шайба насаживается на проволоку со значительным усилием, чтобы проволока прогибалась вбок и не попадала в отверстие шайбы. В действительности в момент насадки шайбы длинным выступом одного диска короткий выступ противоположного диска подпирает проволоку, которая, следовательно, имеет на небольшом отрезке две точки опоры: короткий выступ диска и конец калибра. Так как расстояние между этими опорами невелико, то проволока не прогибается.

Известны также шайбонасадочные автоматы с дисками, расположенными в вертикальной плоскости один над другим.

Электрическая прочность коаксиальных пар во многом зависит от качества их изготовления. Если поверхность проволоки и ленты, образующих коаксиальную пару, недостаточно тщательно очищена от следов масел, окалины, металлических игл, то некоторая часть этих загрязнений может попасть на поверхность и в прорези изолирующих шайб. Инеродные частицы, находящиеся на поверхности шайб, создают проводящие пути для электрического тока, уменьшая тем самым электрическую прочность изоляции. С целью своевременного выявления подобных дефектов в агрегате непосредственно после шайбонасадочного автомата размещена высоковольтная установка. Испытательные электроды представляют собой три латунные трубки, закрепленные на изоляторах, установленные коаксиально по отношению к внутреннему проводнику и расположенные последовательно одна за другой. Переменное напряжение тока подается к испытательным электродам и к заземленным контактным щеткам, соединенным с внутренним проводником коаксиальной пары. Полиэтиленовые шайбы, насаженные на внутренний проводник, во время своего прохождения через электроды испытываются напряжением 3 кВ. В случае попадания дефектной шайбы происходит пробой на внутренний проводник через контактные щетки.

Одновременно с этим производится проверка правильности насадки шайб с помощью приспособления, которое состоит из изогнутой медной пластинки, скользящей по шайбам и в нормальном положении опирающейся на две соседние шайбы.

В случае пропуска хотя бы одной шайбы пластинка, лишенная опоры, опускается и касается внутреннего проводника.

В обоих случаях электрическая цепь замыкается, срабатывает реле, в результате чего агрегат останавливается и одновременно включается сигнализация. Затем на внутренний проводник с надетыми шайбами в калибрующем устройстве накладывается внешний проводник. Калибрующее устройство содержит три калибра: входной, средний (промежуточный) и формующий (выходной). Проходя последовательно все три калибра, медная лента постепенно приобретает вид трубки с гофрированным швом.

Входной или свертывающий калибр — разъемный с конусообразной центральной частью, внутри которой проходит внутренний проводник с шайбами, а по наружной поверхности — лента внешнего проводника. В этом калибре лента начинает свертываться в трубку. Промежуточный цилиндрический калибр подводит ленту вплотную к полиэтиленовым шайбам, но еще не обжимает краев ленты. Выходной калибр окончательно придает внешнему проводнику форму трубки и опрессовывает шов.

Пройдя два последовательных полутангенциальных обмотчика, где на нее накладываются сначала две стальные, затем две бумажные ленты, сформированная коаксиальная пара поступает в приемное устройство. Рядовая укладка коаксиальной пары на приемной катушке осуществляется благодаря возвратно-поступательному движению последней. При таком способе раскладки коаксиальная пара не претерпевает изгибов, вызывающих ее деформации.

Линейная скорость совмещенного процесса изготовления коаксиальных пар методом насадки шайб 6,0—6,5 м/мин.

**Агрегат для отливки шайб.** Технология насадки шайб обладает рядом недостатков, о которых будет сказано ниже. Поэтому все большее распространение приобретают способы циклической или непрерывной отливки по-

лиэтиленовых шайб непосредственно на внутреннем проводнике.

В агрегате циклической отливки (рис. 8.10) на проволоке посредством двустворчатой пресс-формы отливается сразу до 10—12 шайб при температуре около 200°C и давлении 70 МПа. С целью повышения производитель-

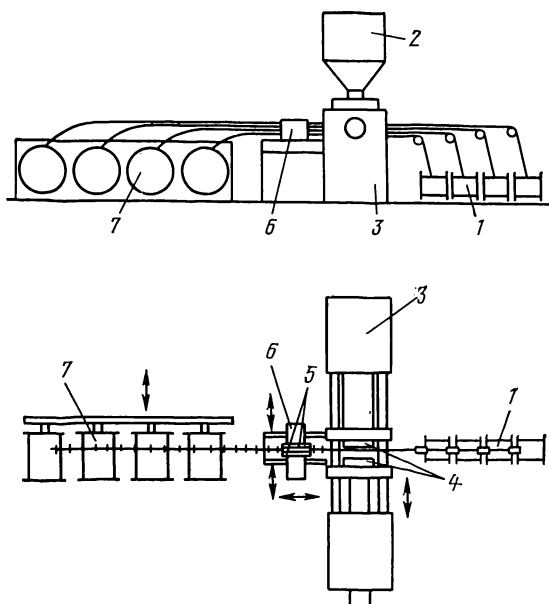


Рис. 8.10. Схема агрегата для циклической отливки полиэтиленовых шайб на внутренний проводник коаксиальной пары.

1 — отдающее устройство; 2 — загрузочный бункер; 3 — литьевая машина; 4 — многопозиционная пресс-форма; 5 — раздвижные захваты; 6 — подвижная тяговая каретка; 7 — приемное устройство с возвратно-поступательным движением.

ности агрегата шайбы отливаются одновременно на 4—6 проволоках. После каждого цикла отливки обе створки пресс-формы размыкаются и специальная тяговая каретка продвигает четыре — шесть проволок одновременно вперед на расстояние, равное участку, занимаемому 10—12 шайбами, т. е. на 0,25—0,3 м. Проволоки с отлитыми на них шайбами поступают на последовательно расположенные приемные барабаны. Наложение внешнего проводника и других элементов производится на другой машине.

При отливке шайб на непрерывно движущуюся проволоку последняя проходит между вращающимися литьевыми полупресс-формами, периодически смыкающимися на период отливки одной шайбы и образующими при этом закрытую форму, в которую подается расплавленный полиэтилен. После охлаждения струей воздуха или проточной водой форма раскрывается.

Один из вариантов агрегата для непрерывной отливки шайб на внутреннем проводнике показан на рис. 8.11. Вращающаяся головка 1 состоит из двух литевых полупресс-форм — верхней 2

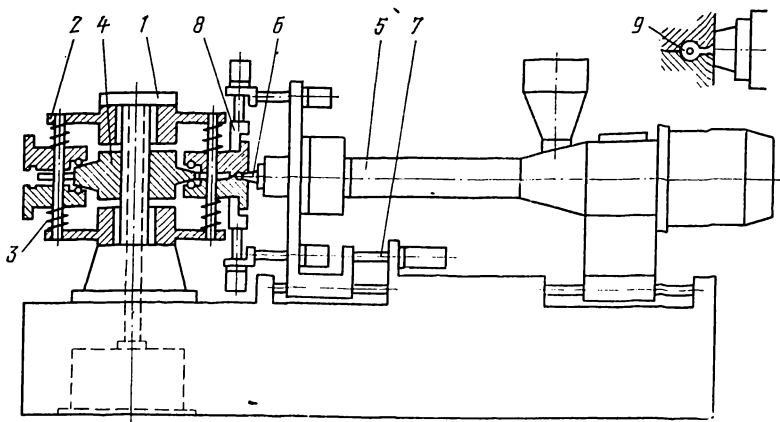


Рис. 8.11. Агрегат для непрерывной отливки полиэтиленовых шайб на внутренний проводник коаксиальной пары.

и нижней 3. Каждая полупресс-форма образована 12 секторами. Секторы верхней полупресс-формы подвижные, при вращении головки они посредством пружин плавно поднимаются и опускаются. По окружности шайбы 4 проходит медная проволока. Экструдер 5 имеет мундштук 6 с плоской щелью, через которую выдавливается полиэтилен, разогретый в цилиндре до 220—240°C. По направляющим 7 экструдер подводится к литевой головке так, что мундштук вплотную касается ее. В таком положении экструдер закрепляется верхним и нижним захватами 8. Вблизи точки соприкосновения с мундштуком верхние и нижние секторы смыкаются, образуя в головке литевые гнезда 9 с отверстиями. В каждом секторе четыре гнезда, всего их в головке 48. В каждое литевое гнездо последовательно подается полиэтилен. Таким образом, на внутреннем проводнике одна за другой через заданные интервалы отливаются шайбы. По мере удаления от мундштука верхние секторы поднимаются, полупресс-формы раскрываются и внутренний проводник с отлитыми на нем шайбами выходит из головки и поступает на приемный барабан. По пути он проходит через приспособление

с вращающимся ножом, который срезает полиэтиленовую пленку, непрерывно образующуюся в головке с наружной стороны шайб.

Схема агрегата для изготовления внутреннего проводника с шайбовой изоляцией приведена на рис. 8.12. Линейная скорость процесса 20—25 м/мин. В другом конструктивном варианте медная проволока поступает в гусеничное устройство, башмаки которого являются звеньями двух полупресс-форм, смыкающихся на рабочем участке. К одной из гусениц, в башмаках которой имеются отверстия (литники), примыкает блок питателя,

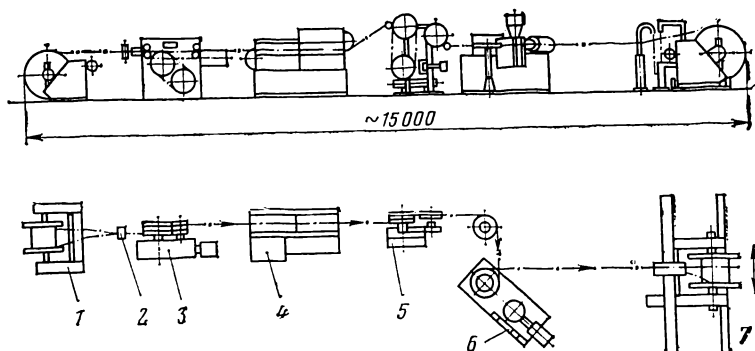


Рис. 8.12. Схема агрегата для одновременной подкалибровки и очистки медной проволоки и непрерывной отливки на ней полиэтиленовых шайб.

1 — отапливающее устройство; 2 — проволока; 3 — тяговое устройство; 4 — ванна очистки; 5 — компенсатор; 6 — литевая головка с экструдером; 7 — приемное устройство.

состоящий из экструдера и цилиндра с поршнем, штоком и конической насадкой. При совпадении литника с отверстием насадки толкатель подает расплавленный полиэтилен в гнездо пресс-формы. На выходе гусеничного устройства, где башмаки расходятся, появляется проводник с отлитыми шайбами.

Непосредственная отливка шайб на проволоке по сравнению с насадкой обеспечивает: весьма плотное, устойчивое прилегание изолирующих шайб к внутреннему проводнику; отсутствие радиального разреза шайб, снижающего как электрическую прочность, так и механическую устойчивость коаксиальных пар; большую равномерность шага расположения шайб на проволоке; полное отсутствие пропущенных шайб. Благодаря

Большей механической устойчивости шайб можно делать их тоньше и следовательно, располагать чаще, чем при насадке, и тем способствовать большей устойчивости: трубки внешнего проводника.

Производственные преимущества способа отливки шайб перед способом их насадки: отсутствуют вспомогательные операции по отливке и калибровке полиэтиленовых пластин или лент и штамповке из них шайб с последующей обработкой последних (промывание, сушка); уменьшаются отходы в цикле кабельного производства; отпадает необходимость наличия в установке специального устройства высокого напряжения для проверки электрической прочности шайбовой изоляции и равномерности насадки шайб (отсутствия пропущенных шайб).

Отрицательной стороной способа отливки шайб по сравнению со способом их насадки принято считать то, что в случае отливки шайб изготовление коаксиальной пары производится не в одну, а в две операции на двух различных машинах. Однако линейные скорости обеих отдельных операций примерно в 3 раза больше, чем скорость совмещенного процесса. Следовательно, суммарная трудоемкость изготовления коаксиальных пар отливкой шайб все же меньше, чем при их насадке.

**Вспомогательные операции.** К вспомогательным относятся операции по подготовке медной проволоки и медной ленты, образующих внутренний и внешний проводники, а также подготовке стальных лент, накладываемых в качестве экрана. Эти операции характерны для обоих технологических вариантов изготовления коаксиальных пар. Вспомогательные операции по изготовлению полиэтиленовых шайб выполняются только при насадке шайб на внутренний проводник.

Подготовка медной проволоки включает ее калибровку и очистку. Для обеспечения точного выдерживания заданного диаметра и предотвращения овальности полутвердую медную проволоку размером, несколько большим номинального диаметра внутреннего проводника, например 2,7—2,8 мм, дополнительно протягивают через одну алмазную волоку или через две волоки (входную — твердосплавную и выходную — алмазную) — неподвижные или вращающиеся. После этого проволока проходит через очистную ванну. Применяется ультразвуковая очистка поверхности проволоки в среде фторированных хлоруглеродов, например фреона, или в мыльной эмульсии при частоте генератора 20—30 кГц. Возможна электрохимическая очистка путем пропускания постоянного тока через раствор четыреххлористого углерода. При этом происходит явление электролиза, сопровождающееся анодным растворением поверхностного слоя очищаемой проволоки толщиной в 1 мкм.

Операции калибровки и очистки проволоки обычно совмещаются. Волоочильное приспособление и очистная ванна либо устанавли-

ливаются отдельно при технологии насадки шайб или их циклической отливке, либо встраиваются в агрегат для непрерывной отливки шайб.

Подготовка медной ленты заключается в гофрировании ее краев и очистке поверхности. Гофрирующее устройство состоит из двух сборных валков с дисками, цилиндрическая поверхность которых имеет зубчатую нарезку. Высота гофров регулируется посредством маховичка. Ширина гофрировки каждого края ленты 1,8—2,0 мм, высота гофров 0,35—0,40 мм. Гофрирование производится так, чтобы выпуклости гофра одного края ленты располагались против вогнутостей другого края и наоборот. Линейная скорость гофрирования в среднем 80 м/мин. Поверхность ленты очищается войлочным протиром, смоченным в бензине.

Вырубка полиэтиленовых шайб с отверстием в центре производится из калиброванных по толщине лент на эксцентриковом прессе с многогнездовыми штампами. Для очистки от загрязнений, следов масла и металлической пыли шайбы промываются водой и высушиваются в центрифуге. Так как полиэтилен негигроскопичен, влага находится лишь на поверхности шайб. Поэтому она легко удаляется в течение нескольких минут.

**Технология изготовления коаксиальных пар.** В понятие технологического режима изготовления коаксиальных пар входят как содержание и последовательность основных и вспомогательных операций, так и выбор размеров элементов пары: проволоки, медной и стальных лент, шайб, а также параметров расположения последних. Соответствующие размеры и параметры выбираются такими, чтобы обеспечивались заданные электрические характеристики коаксиальной пары (волновое сопротивление  $Z_B = 75$  Ом на частоте 1 МГц и частотная зависимость коэффициента затухания с погрешностью не более 2%) и ее механическая стойкость и, следовательно, стабильность электрических свойств. Заданные вторичные параметры передачи зависят, в частности, от реальных свойств конкретных применяемых материалов, например от удельного электрического сопротивления медной проволоки и медной ленты, от относительной диэлектрической проницаемости полиэтилена.

Например,

$$Z_B = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{rЭК}} \ln D_i/d},$$

где  $d$  — диаметр внутреннего проводника;  $D_i$  — внутренний диаметр внешнего проводника;  $\epsilon_{rЭК}$  — эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость изоляции, состоящей из полиэтиленовых шайб и воздуха.

В отечественной практике применяется полутвердая медная проволока диаметром  $2,58 \pm 0,005$  мм. Размеры медной ленты, из которой формируется внешний проводник: ширина  $30,6 - 0,2$  мм, толщина  $0,26 - 0,015$  мм. Шов при свертывании ленты встык — гофрированный. Диаметр полиэтиленовых шайб  $9,25 \pm 0,05$  мм, диаметр отверстия в шайбе 2,55 мм. Толщина шайб и шаг их насадки (отливки) или расстояние между соседними шайбами на внутреннем проводнике могут выбираться различными в определенных пределах, но обе величины связаны между собой условием получения заданного значения эквивалентной диэлектрической проницаемости шайбовой изоляции. Последняя может быть подсчитана по следующей приближенной формуле:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{эк}} &= \frac{\epsilon_{\text{в}} a + \epsilon_{\text{рд}} \delta}{a + \delta} = \frac{a + \epsilon_{\text{рд}} \delta}{h} = \frac{h - \delta + \epsilon_{\text{рд}} \delta}{h} = \\ &= \frac{h + \delta (\epsilon_{\text{рд}} - 1)}{h} = 1 + \frac{\delta}{h} (\epsilon_{\text{рд}} - 1), \end{aligned}$$

где  $\epsilon_{\text{в}} = 1$  — относительная диэлектрическая проницаемость воздуха;  $\epsilon_{\text{рд}}$  — относительная диэлектрическая проницаемость полиэтилена;  $\delta$  — толщина полиэтиленовой шайбы;  $a$  — расстояние между соседними шайбами;  $h = a + \delta$  — шаг расположения (насадки или отливки) шайб.

В отечественной практике при насадке шайб их толщина берется равной  $2,2 \pm 0,1$  мм, а расстояние между шайбами  $30,5 - 0,2$  мм. При отливке шайб их толщина уменьшается до 1,7 мм, а расстояние между шайбами составляет 27 мм. Эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость изоляции в обоих случаях практически (с точностью до второго знака) одинакова — 1,08. Внутренний диаметр внешнего проводника 9,4 мм. Размеры стальных экранных лент  $(15 - 0,3) \times (0,15 - 0,02)$  мм; ленты накладываются с нормальным относительным перекрытием  $k_{\text{н}} = 30 \div 35\%$ . Бумажные ленты толщиной 0,12 мм накладываются с шагом 20 мм и перекрытием  $k_{\text{н}} = 10 \div 20\%$ .

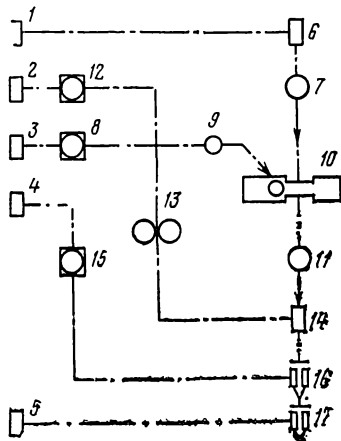
В технологический цикл входит и так называемая операция тренировки коаксиальных пар. Своевременное выявление и замена дефектных шайб еще не являются достаточной гарантией электрической прочности коаксиальных пар. В процессе формирования внешнего



проводника возможно образование внутри коаксиальной пары токопроводящих металлических мостиков. Частицы металлической пыли, образующейся от трения краев медной ленты при свертывании ее в трубку, оседают на поверхности полиэтиленовых шайб. Эффективным способом ликвидации токопроводящих частиц является выжигание их электрической искрой. К проводникам коаксиальной пары прикладывается высокое напряжение для создания пробоя воздуха в месте, где нарушается равномерность электрического поля. При пробое воздушного промежутка через образовавшуюся искру про-

Рис. 8.13. Последовательность технологических операций при изготовлении коаксиальных пар методом насадки шайб.

1 — медная проволока; 2 — медная лента; 3 — полиэтиленовая лента; 4 — стальные ленты; 5 — бумажные ленты; 6 — подкалибровка внутреннего проводника; 7 — очистка внутреннего проводника; 8 — штамповка полиэтиленовых шайб; 9 — очистка шайб; 10 — насадка шайб на внутренний проводник; 11 — проверка качества шайбовой изоляции; 12 — профилировка медной ленты; 13 — очистка медной ленты; 14 — формирование внешнего проводника; 15 — рихтовка и очистка стальных лент; 16 — наложение электромагнитного экрана; 17 — обмотка коаксиальной пары изолирующими лентами.



исходит разряд конденсатора, заряженного до напряжения, равного напряжению пробоя. Разрядный ток сжигает металлическую пыль.

Для тренировки изоляции используется обычное испытательное устройство постоянного тока. Напряжение плавно повышается до возникновения разрядов, после чего дальнейший подъем напряжения временно приостанавливается. Прекращение разрядов на данной ступени напряжения свидетельствует о повышении электрической прочности коаксиальной пары в результате тренировки. Затем напряжение снова повышается и так повторяется до тех пор, пока при нормированном испытательном напряжении 3,7 кВ в течение 2 мин не произойдет ни одного разряда.

Представление об основных и вспомогательных операциях при изготовлении коаксиальных пар методом насадки шайб дает схема на рис. 8.13.

### 8.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С МИНЕРАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

При изготовлении кабеля с минеральной изоляцией в металлической оболочке (трубе) размещают одну или несколько жил, а промежутки между ними и оболочкой заполняют окисью магния. Затем заготовку волочат до заданного диаметра, в результате чего происходит уплотнение порошка.

Процесс изготовления кабелей с минеральной изоляцией заключается в сборке медных прутков (из бескислородной меди) в медную, алюминиевую или мягкую стальную оболочку. В отверстие наконечника вставляют концы прутков трубчатого штока с поршнем, имеющим отверстия по числу и размеру отверстий соответствующей конструкции кабеля, и с боковыми каналами для заполнения порошком. Собранный заготовку кабеля устанавливают вертикально в засыпную машину и закрепляют в ней неподвижно. Поднимают шток в трубе и с помощью вибрационного питателя начинают засыпать высушенную порошкообразную окись магния в пространство между трубой и штоком. Заполнение его производится между нижним колпачком и штоком. При помощи специального приспособления шток совершает возвратно-поступательное движение с амплитудой 7 мм и уплотняет рыхлый порошок. Уплотнение порошка продолжается до выравнивания давления порошка на поршень и силы трения между трубой и поршнем. После достижения равновесия этих сил поршень со штоком постепенно поднимают в трубе, уплотняя засыпаемый порошок вплоть до полного заполнения трубы.

Трубу со вставленным штоком переносят на горизонтальный стол, где из нее вынимают шток и наконечник. Концы трубы обжимают на гидравлическом прессе и волочат на цепном стане через твердосплавную волоку. Затем заготовку отжигают в печи на проход. Для предохранения оболочки от окисления заготовку отжигают в парах керосина.

Во время волочения происходит обжатие оболочки и уплотнение порошка, давление которого передается на вставленные прутки, которые также деформируются. Диаметр заготовки уменьшается, а длина увеличивается. Если длина заготовки равна или близка к длине цепного стана, дальнейшее волочение заготовки продолжают на однократных волочильных барабанах и принимают ее в бухты диаметром, равным не менее 100 диаметров кабеля, с промежуточным отжигом в колпаковой печи в атмосфере защитного газа. По мере того, как диаметр заготовки уменьшается, а длина ее увеличивается, волочение продолжают на однократных волочильных машинах с меньшим диаметром барабана и промежуточным отжигом. При достижении заданного диаметра кабеля производят окончательный отжиг и кабель передают на испытание. После испытания концы кабеля герметизируют против увлажнения.

Нагревательные и термопарные кабели изготавливают в оболочке из стали или высокотемпературных сплавов. Жилы нагревательных кабелей изготавливают из нихрома, а термопарных кабелей — из термоэлектродных сплавов. Для изоляции применяют периклаз — легкосыпучий порошок окиси магния электрической плавки, не поддающийся уплотнению обычной трамбовкой.

Процесс изготовления нагревательных и термопарных кабелей начинается с чистки труб и прутков на дробеструйном аппарате

дробью диаметром 0,355—0,71 мм при давлении до 0,7 МПа, их обезжиривания и продувки. Ввиду того что периклаз — невлаго- емкий материал, предварительно сушке его не подвергают. Конец подготовленной к производству кабеля трубы (оболочки) обжи- мают на гидравлическом прессе. В трубу вставляют прутки из сплава и направляющую трубу для пролохранения жил кабеля от абразивного действия порошка, особенно поршня с отверстия- ми. Благодаря высокой текучести порошка трубу заполняют без трамбовки. Для более плотного заполнения трубы порошком заго- товку подвергают вибрации с помощью вибратора, установленного на стенке трубы выше поршня с отверстиями. После непродолжи- тельной вибрационной обработки вводят в действие гидравличе- ский цилиндр и оболочку снимают с направляющей трубы. Заготов- ку кабеля, снятую из засыпной машины, отжигают в печи с при- менением водорода в качестве защитной среды (по аналогии с от- жигом жаростойкой стали). Для очистки оболочки из нержавеющей стали от загрязнений бухты кабеля травят в 5%-ном раство- ре азотной кислоты при 60°C. (Если загрязнения не будут удале- ны с поверхности оболочки, они могут быть источником коррозии оболочки). Обычно травление оболочки производят перед оконча- тельным волочением (с тем, чтобы при последнем волочении можно было выровнять поверхность оболочки).

В результате многократного волочения заготовки происходит уменьшение ее диаметра и пропорциональное увеличение длины. Уплотненный порошок поддерживает жилы кабеля в определенном положении между собой и по отношению к оболочке.

При изготовлении терморезистивного кабеля применяют пассивиро- вание оболочки из нержавеющей стали в 25%-ном растворе азот- ной кислоты. В результате пассивирования на поверхности обо- лочки образуется твердая пленка окиси, защищающая оболочку от повреждения.

## **8.4. СПОСОБЫ НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКОЙ ЛЕНТАМИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Монолитная изоляция проводов может быть получена также обмоткой жилы синтетическими лентами с последующей тепловой обработкой, обеспечивающей необходимую степень герметизации. При этом используется свойство неориентированных или каландро- ванных (давленных) фторопластовых и дублированных полиимидно- фторопластовых пленок свариваться при нагреве до температуры около 400°C.

Пленка обычно накладывается на провод методом обмотки с перекрытием. При обмотке неориентированной или каландрован- ной фторопластовой пленкой предъявляются весьма жесткие требо- вания к применяемому обмоточному оборудованию. Это связано с тем обстоятельством, что механическая прочность таких пленок невысока, а способность удлиняться за счет растягивающих усилий значительно больше, чем у ориентированных фторопластовых или других подобных пленок. Поэтому обмоточные машины должны быть снабжены специальными устройствами для регулирования и поддержания в заданных пределах весьма малого натяжения, ис- ключающего вытягивание или обрыв пленки.

На рис. 8.14 показана отечественная вертикальная изолировочная машина марки МО-2, предназначенная для изолирования полиимидно-фторопластовыми пленками жил сечением до 15 мм<sup>2</sup>. Машина имеет три обмотчика с реверсом направления вращения, частотой до 860 об/мин. При этом линейная скорость изолируемой жилы находится в пределах от 2,3 до 11,7 м/мин. Пуск машины плавный за счет применения электродвигателя постоянного тока.

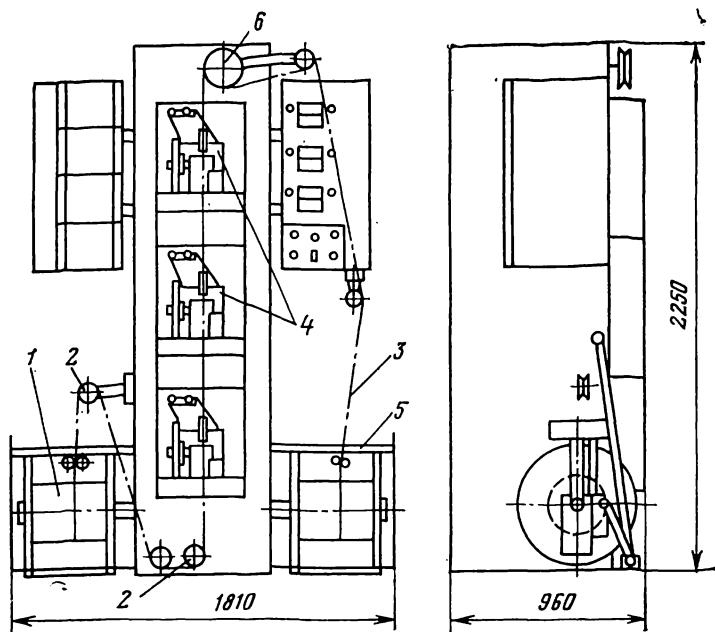


Рис. 8.14. Схема вертикальной машины модели МО-3.

1 — отдающая катушка; 2 — направляющие ролики; 3 — изолируемая жила; 4 — обмотчики; 5 — тяговый механизм; 6 — приемная катушка.

На рис. 8.15 показана горизонтальная изолировочная машина марки ГИМ-3А, на которой производится изолирование неориентированными или каландрованными лентами жил диаметром 1—5 мм. Тип обмотчиков — полутангенциальный, на каждом обмотчике устанавливаются два ролика ленты. Машина двухходовая, каждый ход имеет четыре обмотчика с частотой вращения до 500 об/мин. Натяжение ленты регулируется в пределах от 1 до 15 Н с точностью поддержания в пределах  $\pm 10\%$ . Тепловая обработка пленочной изоляции производится в печах сопротивления или, что более эффективно, путем нагрева с помощью токов высокой частоты. Схема агрегата для высокочастотной запечки пленочной изоляции показана на рис. 8.16. Запечка изоляции может быть совмещена с изолированием. Сечение токопроводящих жил до

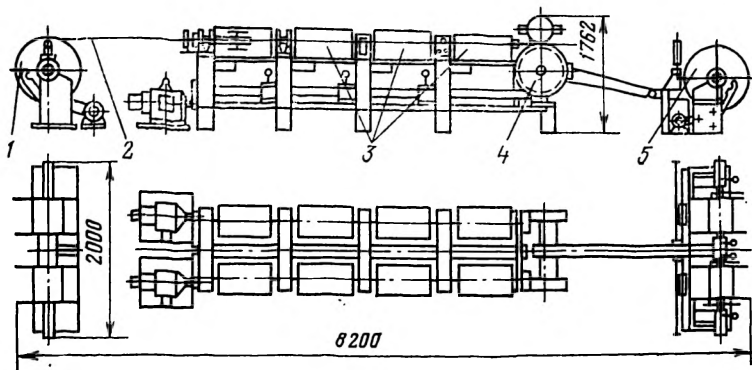


Рис. 8.15. Схема горизонтальной изолировочной машины модели ГИМ-3А.

1 — отдающая катушка; 2 — изолирующая жила; 3 — обмоточный механизм; 4 — тяговый механизм; 5 — приемное устройство с приемным барабаном.

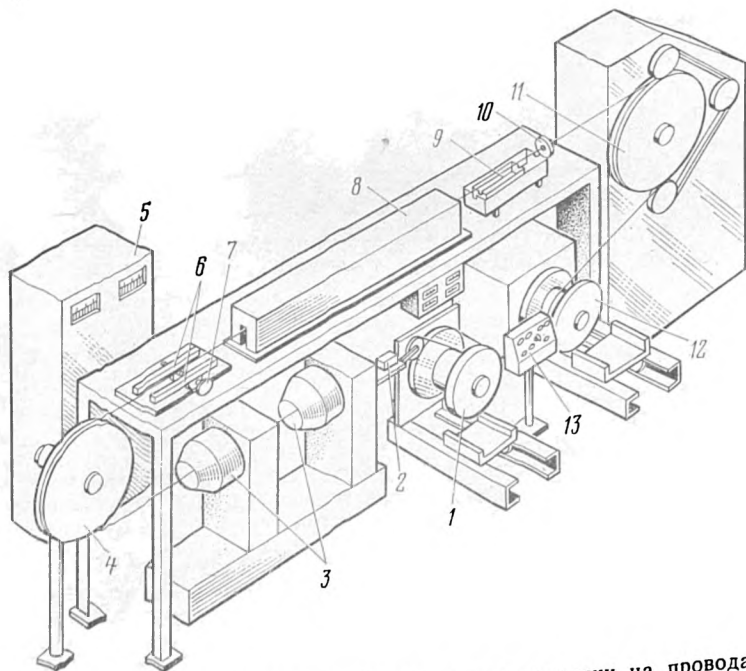


Рис. 8.16. Агрегат для наложения пленочной изоляции на провода с высокочастотной запечкой.

1 — отдающее устройство; 2 — протир; 3 — обмотчик; 4 — поворотное колесо; 5 — генератор; 6 — индуктор; 7 — рукоятка управления индуктором; 8 — печь; 9 — ванна; 10 — калибр; 11 — тяговое устройство; 12 — приемное устройство; 13 — пульт управления.

60 мм<sup>2</sup>, линейная скорость до 8 м/мин. Рабочая частота генератора 67 кГц.

Для спекания пленок из неориентированного фторопласта как материал, ранее уже подвергавшегося спеканию, необходим очень плотный контакт между слоями пленки. При изготовлении обмоточных проводов для погружных электродвигателей это достигается за счет применения в наружном повиве полностью ориентированной пленки, которая при нагреве до 327°C дает значительную усадку и сжимает внутренние слои основной изоляции, состоящей из неориентированных пленок. При выборе оптимального технологи-

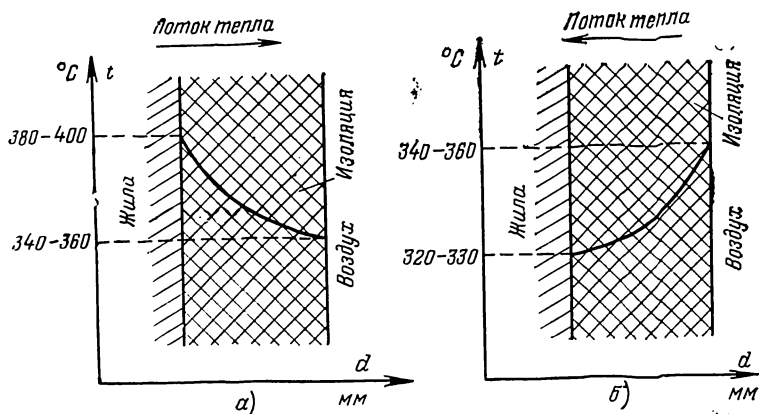


Рис. 8.17. Распределение температуры по толщине изоляции при нагреве со стороны жилы (а) и со стороны изоляции (б).

ского режима учитывается, что при температуре выше 360–370°C ориентированная фторопластовая пленка растрескивается. Высоко-частотный нагрев с точки зрения обеспечения требуемого качества провода имеет безусловные преимущества перед другими способами, при которых нагрев изоляции производится не со стороны жилы, а со стороны наружной поверхности. В качестве примера на рис. 8.17 показано распределение температуры по толщине изоляции при нагреве как снаружи, так и изнутри. В обоих случаях температура на поверхности изоляции является предельно допустимой для ориентированной пленки (340–360°C). Если учесть, что теплопроводность фторопластовой изоляции низка, то перепад температуры в изоляции при ее толщине 0,5–1,0 мм может составить 20–40°C. При нагреве снаружи этот перепад особенно увеличивается при увеличении сечения жилы. Поэтому температура внутренних слоев пленки в первом случае (нагрев снаружи) составит 320–330°C, а во втором (нагрев изнутри)—360–400°C. При нагреве со стороны жилы все слои пленки имеют температуру, достаточную для хорошего спекания изоляции, а при нагреве изнутри это может быть достигнуто только в случае очень тонкой изоляции.

## 8.5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОДРАЗДЕЛЕННЫХ И ТРАНСПОНИРОВАННЫХ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Подразделенные обмоточные провода состоят из нескольких изолированных бумажными лентами прямоугольных проводов, расположенных параллельно в осевом направлении и скрепленных общей бумажной изоляцией. Такая конструкция провода уменьшает потери в обмотках трансформаторов, для намотки которых этот

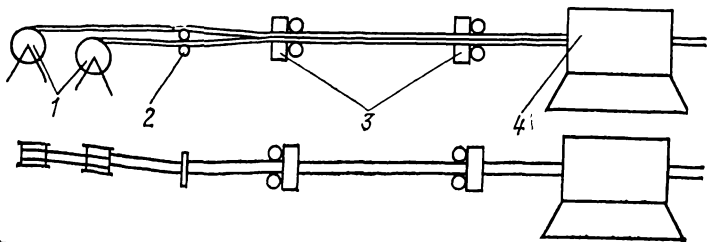


Рис. 8.18. Схема работы приспособления для сборки отдельных проводов для подразделенных обмоточных проводов.  
1 — отдатчик; 2 — сдвоенные ролики; 3 — калибрующие ролики; 4 — первый лентообмотчик машины.

провод предназначен. Изготовление отдельных изолированных проводов для подразделенных проводов производится на обычных лентообмоточных машинах с тангенциальными или полутангенциальными обмотчиками и устройствами, обеспечивающими постоянное натяжение при изменении диаметра бумажного ролика. Машина для изготовления подразделенного провода в целом состоит из следующих узлов: двух или трех отдатчиков, приспособления для сборки отдельных проводов, лентообмотчиков, тягового устройства и приемника пинольного типа. Приспособление для сборки отдельных проводов должно обеспечивать их укладку друг на друга большей стороной сечения без поперечного смещения. Схема работы приспособления для сборки показана на рис. 8.18. Основные технологические режимы изготовления подразделенных проводов приведены в табл. 8.1. Изоляция отдельных проводов состоит из трех лент кабельной бумаги толщиной 0,08 мм; для общей

### Технологические режимы изготовления подразделенных обмоточных проводов

Тип обмоточной машины	Периметр сечения изолированного провода, мм	Число проводов	Линейная скорость, м/с	Частота вращения лентообмотчиков, об/мин	Ширина бумажных лент, мм	
					верхних	остальных
ОГ-8	18,6—22,6	2	0,24—0,29	500	24—26	20—22
ОГ-12	22,7—40,6	2	0,24—0,28	500	26—28	22—24
ОГ-24	18,6—26,1	2	0,19—0,23	412—425	24—26	20—22
		3	0,21—0,25	402—412	28—30	24—26
ОГ-32	26,2—27,6	2	0,19—0,23	390—412	26—28	22—24
			0,22—0,25	390—412	30—32	26—28
ОГ-48	27,7—32,7	2	0,22—0,25	390—412	28—30	24—26
			3	0,22—0,25	390—412	30—34
	32,8—46,1	2	0,22—0,25	390—412	30—32	26—28

изоляция провода используется кабельная высоковольтная бумага толщиной 0,08 мм и кабельная бумага толщиной 0,12 мм.

Наряду с отдельным наложением изоляции на отдельные прямоугольные провода, сборкой их в подразделенный провод и наложением общей (поясной) изоляции применяются поточные линии, совмещающие наложение изоляции на отдельные провода, сборку отдельных проводов в подразделенный провод и наложение общей (поясной) изоляции. Поточная линия для изготовления подразделенных проводов состоит из двух бумагоизолирующих машин, размещенных одна над другой, и последовательно размещенных головки для сборки отдельных проводов в транспонированный провод и бумагоизолирующей машины для общей (поясной) изоляции. Отдающие и приемные механизмы аналогичны применяемым в машинах для наложения общей изоляции на подразделенные провода. Подобная поточная линия объединяет в себе два технологических процесса: наложение изоляции на отдельные провода и сборку отдельных проводов в подразделенный провод с наложением общей (поясной) изоляции.

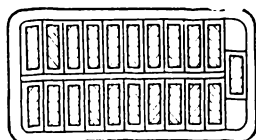
С целью дальнейшего снижения потерь в обмотках мощных трансформаторов применяются прямоугольные транспонированные провода. При транспонировании отдельные изолированные провода располагаются по



оси провода не параллельно друг другу, а перемещаясь по сечению провода, занимают равномерное положение по его длине и сечению. Фактически происходит правильное перемещение отдельных проводов за каждый оборот клетки с отдающими катушками.

Конструкция транспонированного провода прямоугольного сечения, состоящего из отдельных прямоугольных проводов с эмалевой изоляцией, показана на рис. 8.19. Изготовление транспонированных проводов производится путем скрутки с откруткой отдельных эмалированных проводов с последующей обмоткой их бумажными лентами.

Рис. 8.19. Конструкция транспонированного провода.  $K \rightarrow$



Для изолирования отдельных прямоугольных проводов используется эмаль-лак на поливинилформалевой основе, обладающий повышенной маслостойкостью. Качество этих проводов во многом зависит от качества применяемой медной проволоки, так как наличие закатов, заусенцев, раковин на ее поверхности может явиться одной из причин замыканий эмалированных проводов в составе транспонированного провода, что не допускается. С целью повышения качества прямоугольных эмалированных проводов для их изготовления применяется проволока из скальпированной катанки, полученной из слитков бескислородной меди, или катанки, полученной методом непрерывного литья и прокатки.

Схема агрегата для изготовления транспонированных проводов показана на рис. 8.20. Основными узлами машины являются: клеть, откручивающий механизм, транспонирующее устройство, бумагообмотчики, гусеничная тяга, отдающее и приемное устройства, контрольное (контактное устройство), подъемное устройство. Эмалированный провод с катушки, установленной в клетке, поступает в распорядительный механизм клетки, обеспечивающий горизонтальное и параллельное расположение провода в прямоугольных отверстиях розетки перед входом в транспонирующую головку. Рычажные

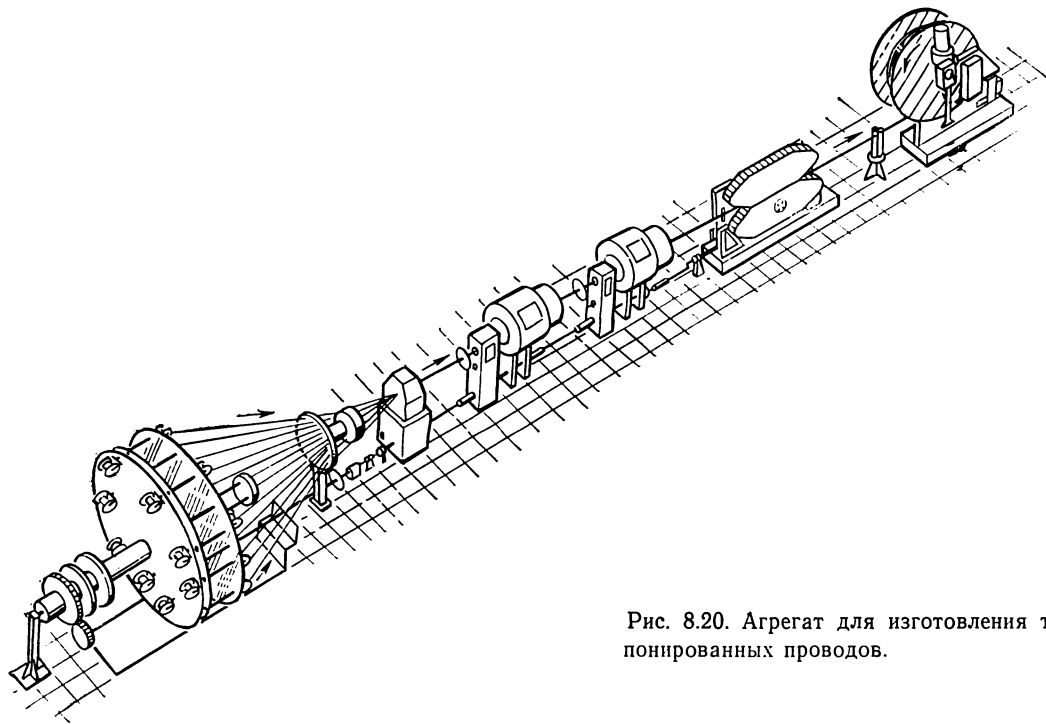


Рис. 8.20. Агрегат для изготовления транспонированных проводов.

и кулачковые формирующие элементы головки поджимают проволоку в определенном направлении и этим обеспечивают транспозицию в рамках прямоугольного контура. За полный шаг транспонирования принимается расстояние, на протяжении которого каждый из отдельных проводов, составляющих провод, перемещается по всему общему периметру провода и возвращается в свое первоначальное исходное положение, поочередно занимая одну и ту же позицию в проводе в точках, расположенных на равных расстояниях по его длине. После транспонирующей головки провод проходит через бумагообмотчики и гусеничную тягу на приемный барабан. На приемном устройстве устанавливается контрольный прибор, проверяющий наличие изоляции между отдельными эмалированными проводами.

Крутильная клеть отечественной транспонирующей машины ТМ-1 рассчитана на 36 катушек диаметром 500 мм. Число транспонируемых проводов может составлять 3, 13, 21 и 35. Машина обеспечивает линейную скорость движения провода при транспонировании до 2,4 м/мин. Клеть снабжена планетарным механизмом открутки для скрутки проводов. Транспонирующая головка имеет корпус, в котором на валиках расположены кулачки, приводящие в движение рычаги. Рычаги приводят в действие толкатели для горизонтального и вертикального перемещений проводов. На выходе провода из транспонирующей головки имеется регулируемая система калибрующих роликов. Соприкосновение толкателя с плоскостью пакета происходит за счет трения качения, что исключает повреждение эмалевой изоляции. Изменение частоты вращения клетки и транспонируемой головки производится с помощью сменных шестерен в системе электропривода. Машина ТМ-1 имеет тангенциальный обмотчик из восьми роликов бумажной ленты. Диаметр ролика до 480 мм, частота вращения обмотчика до 325 об/мин. Прием транспонированного провода производится на барабаны 1700—2450 мм. Раскладка проволоки по ширине барабана осуществляется за счет поперечного перемещения барабана с регулировкой его движения. Гусеничное тяговое устройство рассчитано на усилие протягивания провода 9800 Н и имеет направляющие ролики на входе в гусеницу и выходе из нее. Машина ТМ-1 имеет автоматические устройства для торможения при остановке, обры-

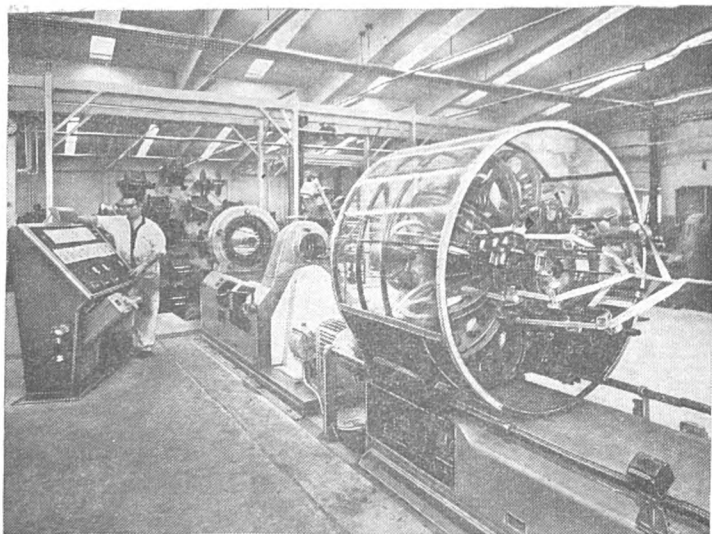


Рис. 8.21. Общий вид транспортирующей машины фирмы «Картер».

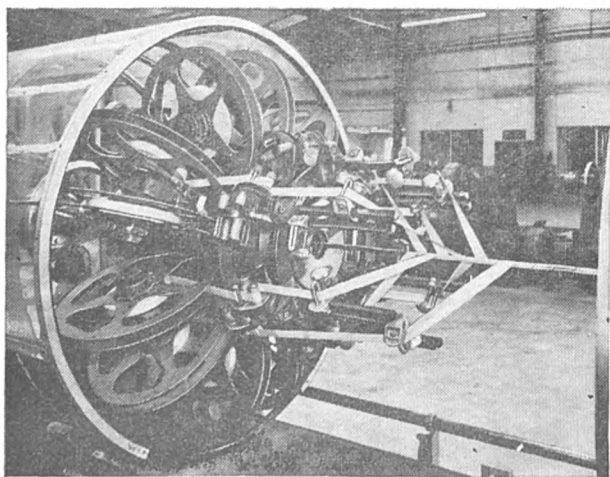


Рис. 8.22. Головка для наложения бумажных лент на транспортирующей машине фирмы «Картер».

ве бумажной ленты или срабатывании блокировки счетчика, устанавливаемого на строительную длину провода, а также сигнальные устройства контрольно-контактного искателя повреждения изоляции транспонированного провода.

Машины подобного типа выпускаются и за рубежом. Общий вид машины для изготовления транспонированных проводов английской фирмы «Картер» показан на рис. 8.21. Машина имеет две крутильные клетки, на которые устанавливаются соответственно 15 и 16 катушек с проводом. Поэтому машина может использоваться для транспонирования до 31 провода. Между двумя крутильными устройствами расположено приводимое в действие от клетки на 15 катушек специальное приспособление для направления транспонируемых проводов через клетку на 16 катушек к транспонирующей головке. Каждая клетка снабжена пневматическими колодочными тормозами для остановки машины. Транспонирующая головка машины фирмы «Картер» состоит из специального транспонирующего устройства и ведущего механизма кулачкового типа; минимальное количество транспонируемых проволок — пять, размеры отдельных проводов от  $3,5 \times 1,02$  до  $11,4 \times 3,05$  мм. Скорость транспонирования 100—120 перемещений в минуту. Машина имеет два обмотчика, расположенных между транспонирующей головкой и тяговым устройством. Максимальный диаметр бумажного ролика 457 мм. Головка для изолирования проводов после транспонирования бумажными лентами показана на рис. 8.22. Каждая головка может приводиться во вращение в двух противоположных направлениях. Натяжение бумажной ленты при изменении диаметра ролика поддерживается постоянным специальной системой регулировки. Максимальная частота вращения бумагообмотчиков 500—600 об/мин. Тяговое устройство — гусеничного типа. Оно расположено обычно в углублении, так что его высота составляет всего около 1 м. Приемное устройство рассчитано на барабаны диаметром 2290 мм. Установка барабанов безосевая. Оборудование аналогичного типа выпускается французской фирмой «Альстом».

## СКРУТКА ИЗОЛИРОВАННЫХ ЖИЛ В КАБЕЛЬ

### 9.1. СКРУТКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Скрутку изолированных жил в кабель при изготовлении силовых кабелей можно производить с откруткой и без открутки. При скрутке без открутки происходит самопроизвольное дополнительное закручивание жилы вокруг собственной оси. Это приводит к деформации фазной изоляции и, следовательно, к образованию дополнительных дефектов в ней в виде морщин и вмятин. Особенно это явление заметно при скрутке жил большого сечения и при больших толщинах изоляции.

Скруткой в закрутку называют такой процесс скрутки, при котором направление скрутки изолированных жил совпадает с направлением скрутки проволок в наружном повиве изолированной жилы. Под скруткой в раскрутку понимается такой процесс скрутки, при котором эти направления противоположны.

Рассмотрим развертку поверхности жилы, периметр которой до скрутки обозначим  $U = \pi D_{\text{ц}}$  (см. рис. 2.6). При этом шаг скрутки проволок в наружном повиве и длину проволоки, приходящейся на один шаг скрутки, обозначим соответственно  $H$  и  $L$ .

Шаг скрутки кабеля и длину проволоки в наружном повиве, приходящуюся на один шаг общей скрутки, обозначим соответственно  $H_{\text{к}}$  и  $L_{\text{к}}$ . Введем также величину  $C$ , под которой понимается отношение  $H_{\text{к}}/H = L_{\text{к}}/L$ , если кабель скручивается с откруткой, т. е. при общей скрутке не происходит закручивания изолированной жилы вокруг собственной оси.

Рассмотрим теперь изменение периметра жилы при скрутке кабеля в закрутку и в раскрутку. Как видно из рис. 2.6, при общей скрутке, производимой с откруткой,

$$U = \sqrt{L^2 - H^2} = \sqrt{\left(\frac{L_{\text{к}}}{C}\right)^2 - \left(\frac{H_{\text{к}}}{C}\right)^2} \quad (9.1)$$

При скрутке без открутки в закрутку жила поворачивается вокруг оси в направлении скрутки проволок в последнем повиве примерно на один оборот, поэтому

периметр жилы после скрутки  $U_3$  следует определять по формуле

$$U_3 = \sqrt{\left(\frac{L_k}{C+1}\right)^2 - \left(\frac{H_k}{C+1}\right)^2} \quad (9.2)$$

Следовательно, изменение периметра жилы составит:

$$\begin{aligned} \Delta U = U_3 - U &= \frac{1}{C+1} \sqrt{L_k^2 - H_k^2} - \\ &- \frac{1}{C} \sqrt{L_k^2 - H_k^2} = -\frac{\sqrt{L_k^2 - H_k^2}}{C(C+1)} = -\frac{U}{C+1}. \end{aligned} \quad (9.3)$$

При скрутке без открутки в раскрутку жила поворачивается вокруг своей оси приблизительно на один оборот в направлении, противоположном направлению скрутки проволок в последнем повороте, поэтому периметр жилы  $U_p$  определяется по формуле

$$U_p = \sqrt{\left(\frac{L_k}{C-1}\right)^2 - \left(\frac{H_k}{C-1}\right)^2}. \quad (9.4)$$

Отсюда изменение периметра жилы составит:

$$\begin{aligned} \Delta U = U_p - U &= \frac{1}{C-1} \sqrt{L_k^2 - H_k^2} - \\ &- \frac{1}{C} \sqrt{L_k^2 - H_k^2} = \frac{\sqrt{L_k^2 - H_k^2}}{C-1} = \frac{U}{C-1}. \end{aligned}$$

Таким образом, абсолютное значение  $\Delta U$  при скрутке без открутки составит:

$$|\Delta U| = \frac{U}{C \pm 1}. \quad (9.5)$$

Изменение периметра  $|\Delta U|$  больше при скрутке в раскрутку, что следует учитывать при выборе направления скрутки проволок в жиле и скрутки изолированных жил. Следует иметь в виду, что все приведенные рассуждения справедливы и для слоев изоляции. Поэтому для уменьшения дефектов в изоляции рекомендуется внутренние слои накладывать в закрутку, а внешние в раскрутку. При этом учитывается, что перемещение внутренних слоев изоляции при общей скрутке без открутки затруднено в большей степени, так как они ис-

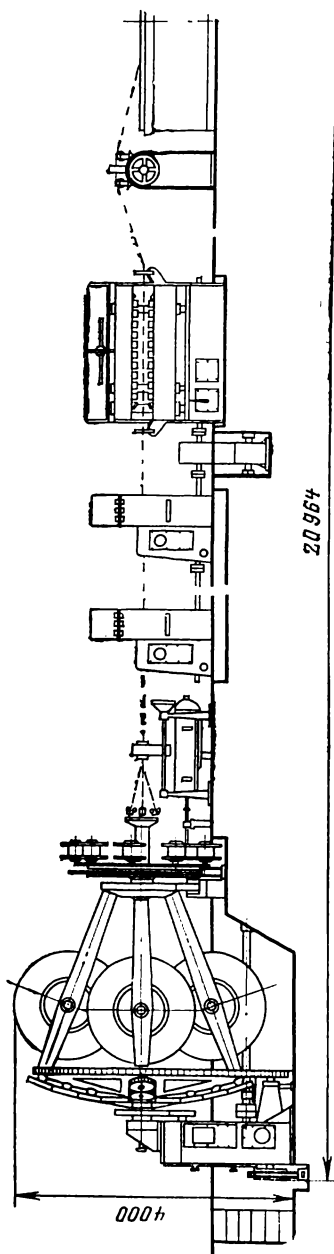


Рис. 9.1. Схема машины МКРА 3×1600 для скрутки изолированных жил в кабель.

пытывают радиальное давление последующих слоев изоляции, а наружные слои изоляции могут более свободно перемещаться по поверхности кабеля без повреждений в связи с тем, что радиальное давление на них меньше. Таким образом, с точки зрения качества изоляции желательно скрутку изолированных жил в кабель производить с откруткой. Поэтому скрутка круглых жил в кабель должна производиться с откруткой (например, скрутка кабелей марки ОСБ).

Скрутка секторных жил сечением до  $150 \text{ мм}^2$  в кабель с поясной изоляцией на напряжения 1—6 кВ производится без открутки, так как при скрутке с откруткой трудно получить гладкую цилиндрическую поверхность скрученного кабеля.

При скрутке секторных жил сечением  $3 \times 70 \text{ мм}^2$  и выше кабелей на напряжения 6—10 кВ для уменьшения дефектов в фазной изоляции необходимо применить предварительно подкрученные жилы, которые скручиваются в кабель с откруткой.

Скрутка предварительно подкрученных жил производится на обычных



крутильных дисковых машинах, которые оборудуются специальным подкручивающим устройством. Часто это устройство совмещается с уплотняющим механизмом. При этом уплотняющие вальцы помимо вращения вокруг собственной оси вращаются вокруг оси кабеля. Фазная изоляция накладывается на предварительно подкрученную жилу, поэтому после общей скрутки, которая производится с откруткой, качество фазной изоляции не ухудшается.

Скрутка изолированных жил силовых кабелей производится на машинах, схема расположения технологических механизмов которых показана на рис. 9.1. Крутильная часть машины состоит из двух дисков, между которыми располагаются в люльках три барабана с изолированными жилами. Машины рассчитаны на скрутку максимум четырех жил, причем в этом случае четвертый барабан устанавливается за машиной в неподвижной люльке.

Крутильная часть машины оборудована откручивающим устройством планетарного типа, а также приспособлением для поворота барабанов в люльках, что необходимо при заправке машины.

Секторные и сегментные жилы без предварительной подкрутки должны быть подкручены между отдающим барабаном и скручивающим калибром так, чтобы секторы в процессе скрутки занимали правильное положение — гранями к центру кабеля. Регулирование правильного положения предварительно подкрученных секторных жил в кабеле в процессе скрутки осуществляется путем точной подгонки шага скрутки жил к шагу скрутки кабеля с помощью вариатора одновременно для всех скручиваемых жил.

Скрутка круглых изолированных жил в кабель на напряжения 1—10 кВ производится с шагом  $(25—60)D$ ; секторных или сегментных жил кабелей на 1 и 3 кВ —  $(50—80)D$ ; секторных, предварительно подкрученных жил кабелей на 6 и 10 кВ —  $(50—80)D$ ; секторных жил без предварительной подкрутки кабелей на 6 и 10 кВ —  $(65—90)D$ ; кабелей на 20 и 35 кВ (марки ОСБ) —  $(25—35)D$  (где  $D$  — диаметр кабеля поверх скрученных жил, мм).

За крутильной частью располагается стойка для размещения бобин со жгутами из кабельной бумаги или пропитанной пряжи. Первые служат для междуфазного

заполнения в кабелях с поясной изоляцией, вторые — для заполнения в кабелях с отдельно свинцованными жилами.

Во избежание пропуска жгута или кабельной пряжи заполнения кабеля на трубчатой оси машины размещают автоматы для остановки машины при сходе бобины или обрыве жгута или пряжи. Автоматы имеют пружинящую рамку, связанную с механизмом остановки машины. Сходящий с бобины жгут или кабельная пряжа прижимают рамку к трубе. В случае схода или обрыва жгута рамка автомата поднимается и автомат срабатывает.

Скрутка кабеля производится в калибрах. Обычно применяется система из трех калибров. Первый калибр имеет диаметр на 0,5 мм больше, чем диаметр кабеля по скрутке. Для облегчения скрутки предусматривается смазка его стенок изоляционным маслом. Если скручивается кабель с отдельно свинцованными жилами, то для предохранения свинцовых оболочек от повреждения при скрутке применяют первый калибр из какого-либо мягкого материала (например, дерева). Второй калибр имеет диаметр, равный или на 0,5—1,0 мм меньше диаметра кабеля по скрутке, и, наконец, последний калибр имеет диаметр, равный или на 1,0—1,7 мм меньше диаметра кабеля по скрутке. При изготовлении кабелей с поясной изоляцией, как правило, процессы скрутки изолированных жил и наложения поясной изоляции совмещаются, поэтому за системой калибров в машине размещается одна или несколько бумагообмотчиков тангенциального или полутангенциального типа. Частота вращения бумагообмотчиков составляет не менее 400 об/мин. Ленты поясной изоляции накладываются с зазором 0,5—2,0 мм. Ширина лент для кабелей сечением жил 16—50 мм<sup>2</sup> составляет 22—28 мм, а сечением 70—240 мм<sup>2</sup> составляет 24—30 мм.

Скрученный силовой кабель с поясной изоляцией обычно принимают в корзины диаметром 2—3 м, в которых производится сушка и пропитка кабеля. Кабель укладывается в корзину вручную или с использованием автоматической раскладки,

## 9.2. СКРУТКА КОНТРОЛЬНЫХ МНОГОЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Скрутка изолированных жил в кабель может быть однородной или комбинированной. При однородной скрутке жилы одинакового сечения и диаметра по изоляции скручивают в кабель по системе правильной скрутки одними или несколькими концентрическими повивами вокруг 1—5 жил в центре (рис. 9-2). Допускается применение заполнения из пластмасс, резины или волокнистых материалов в центре или в повивах вместо недостающих жил по системе правильной скрутки.

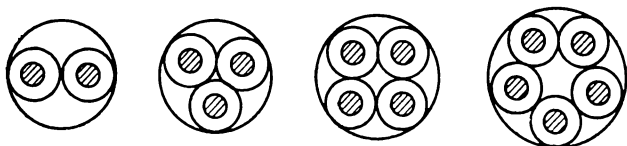


Рис. 9.2. Схемы кабелей с изолированными жилами одинакового диаметра.

Скрутка жил в зависимости от гибкости кабеля может производиться таким образом, что все жилы в повиве скручиваются либо в одну сторону, либо в разных чередующихся направлениях по повивам. Жилы некоторых типов кабелей для повышения гибкости и надежности в условиях эксплуатации скручиваются вокруг сердечника из волокнистых материалов. Для удобства монтажа и контроля в процессе эксплуатации все жилы могут иметь изоляцию различной расцветки или в каждом повиве могут быть две жилы с различной расцветкой изоляции (счетная пара), а все остальные жилы в повиве любого цвета. Сплошная расцветка изоляции может быть заменена цветной полосой, спиралью, кольцами или нумерацией жил по поверхности изоляции.

При комбинированной скрутке токопроводящие жилы могут иметь различные сечения, а изоляцию увеличенной толщины (рис. 9.3). Вспомогательные жилы скручиваются в группы, которые затем скручивают вместе с основными, заземляющими или нулевыми жилами. Комбинированная скрутка также может производиться вокруг сердечника из пластмасс, резины и волокнистых материалов. Наиболее распространено с целью повышения механической прочности кабеля в тяжелых

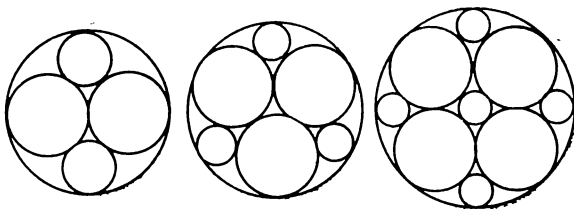


Рис. 9.3. Схемы кабелей с изолированными жилами различного диаметра.

условиях эксплуатации (обвалы породы, удары, раздавливания и т. п.) применение круглого или профилированного резинового сердечника (рис. 9.4 и 9.5), вокруг которого скручивают основные, вспомогательные и заземляющие жилы. Для удобства монтажа, контроля и ремонта в процессе эксплуатации жилы имеют различную расцветку изоляции. Чаще всего основные жилы имеют изоляцию красного, желтого или зеленого цвета, а нулевая жила — изоляцию черного цвета.

Изолированные жилы в кабеле могут быть полностью или частично экранированными (через одну жилу или часть экранированных жил среди остальных неэкранированных жил). Скрутку экранированных и неэкранированных жил в кабель производят аналогично скрутке неэкранированных жил. Кабели с частично экранированными жилами скручивают по принципу комбинированной скрутки — экранированные жилы разме-

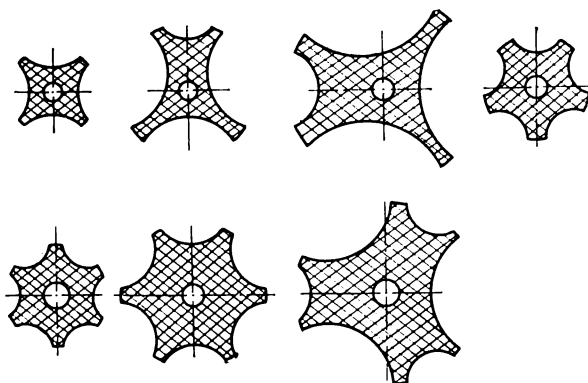


Рис. 9.4. Профилированные резиновые сердечники гибких кабелей с резиновой изоляцией.

щуют симметрично между другими неэкранированными жилами, стремясь к тому, чтобы центры скручиваемых жил находились на одной окружности. В этом случае все жилы будут иметь одинаковую деформацию при изгибе кабеля.

Скрученные изолированные (экранированные и неэкранированные) жилы с целью повышения гибкости кабеля, а также уменьшения расхода материала оболочки (за счет исключения заполнения промежутков между

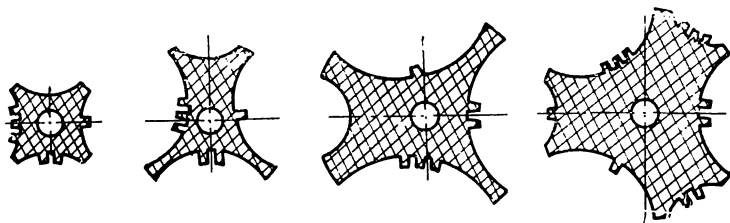


Рис. 9.5. Профилированные резиновые сердечники с маркировкой мест укладки жил.

жилами) обматывают полиэтилентерефталатной (лавсановой), полиамидной (капроновой), поливинилхлоридной, полиэтиленовой или тканевой лентой. При изготовлении некоторых кабелей поверх скрученных изолированных жил накладывают поясную изоляцию из изоляционных пластмасс или резины.

Скрутку однородных и комбинированных многожильных кабелей производят на клетьевых машинах МКД и МКРД с отдающими катушками диаметром 400 или 500 мм. Качество скручиваемых кабелей получается практически равноценным, а производительность скрутки кабеля на машине МКД выше в 2—2,5 раза, чем на машинах МКРД. Тормоза отдающих устройств должны обеспечивать равномерное натяжение скручиваемых жил, направляющие втулки не должны иметь порезов от проволоки, а разъемный калибр должен иметь отполированную поверхность. Обычно машины оборудуют лентообмотчиком для обмотки скрученного кабеля полиэтилентерефталатной или из другого материала лентой.

Скрутку многожильных экранированных и неэкранированных изолированных жил сечением  $0,5 \text{ мм}^2$  и

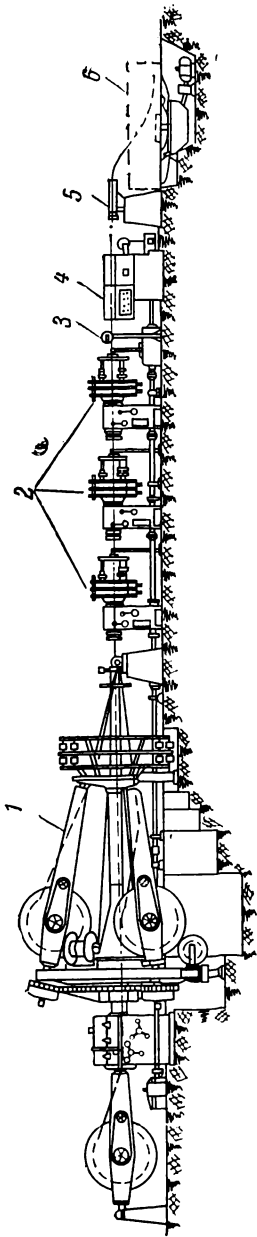


Рис. 9.6. Схема машины МКРА-(1+3)1600 для скрутки изолированных жил в кабель.

1 — крутильная часть; 2 — обмотчики; 3 — счетчик длины; 4 — счетчик длины; 5 — укладчик; 6 — приемная корзина.

менее производят на облегченных машинах модели КФА или ДСК с отдающими катушками диаметром 300 мм. Тормоза должны быть тщательно отрегулированы с целью обеспечения при скрутке жил равномерного их натяжения. Направляющие втулки и калибры должны всегда находиться в исправном состоянии. Некоторые кабели, например кабели управления, на этих машинах скручивают с одним направлением всех повивов. Скрученный кабель обматывают полиэтиленотерефталатной лентой.

Скрутку трех- и четырехжильных кабелей сечением  $120 \text{ мм}^2$  и выше с нулевой жилой производят на клетевых машинах МКРА-3 $\times$  $\times$ 1600 (рис. 9.6) или МКРА-(1+3)1600, обычно без поясной изоляции и обмотки лентами. На этих машинах скручивают также силовые кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией, судовые кабели, кабели для землеройных машин и др. Производительность этих машин 3—5 км в смену. Применяя отдающие барабаны диаметром 1600 мм, без перезаправки машин обеспечивают скрутку нескольких строительных длин кабелей.

Скрутку трехжильных кабелей сечением 25—95 мм<sup>2</sup>

с нулевой и вспомогательными жилами производят на машинах 6АВМ-1000 или ОСФ-1000 с обмоткой или без обмотки лентами. На этих машинах скручивают также кабели для землеройных машин, шахтные, судовые и др. Производительность машин 3—4 км в смену. Из-за малой производительности эти машины в настоящее время заменяют на более производительные (например, сигарного типа).

Весьма производительной машиной для скрутки силовых кабелей является машина, имеющая неподвижные, отдающие барабаны диаметром 1600 мм и вращающиеся тяговое устройство и приемный барабан с механизмом раскладки (рис. 9.7). Изолированные жилы по

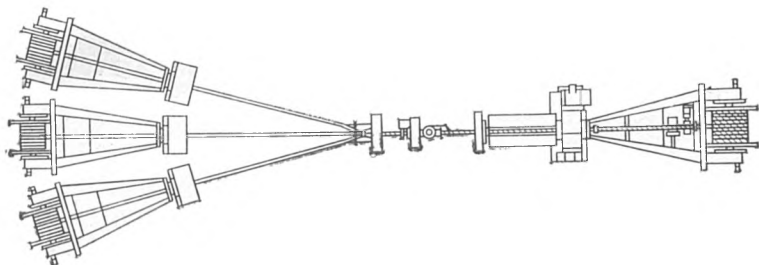


Рис. 9.7. Схема машины типа УВК с вращающимся тяговым механизмом и приемным барабаном для скрутки изолированных жил в кабель.

направляющим поступают в калибр машины и вращением тягового устройства и барабана обеспечивается их скрутка производительностью до 30 км в смену. Скрутка кабеля на этих машинах может быть совмещена с обмоткой лентой или наложением экрана методом повива.

Применение сигарных машин обеспечило большой прогресс в повышении производительности скрутки изолированных жил в кабель (рис. 9.8). В зависимости от сечения и диаметра по изоляции жил нашли применение сигарные машины СР6/200, СР6/400, СР6/500, СР6/630 и МКГС6/1000. При скрутке изолированных жил частота вращения сигарных машин уменьшается вдвое по сравнению со скруткой неизолированных проводов или токопроводящих жил. Вызывается такое уменьшение частоты вращения прежде всего увеличением шага скрутки изолированных жил по сравнению со скруткой жил. Кроме того, на отдающих катушках машин раз-

мещается меньшая длина изолированной жилы по сравнению с длиной стренги или проволоки (из-за большего диаметра по изоляции). Поэтому сохранение высокой частоты вращения тела сигары не оправдано из-за быстрого схода изолированной жилы с отдающей катушки.

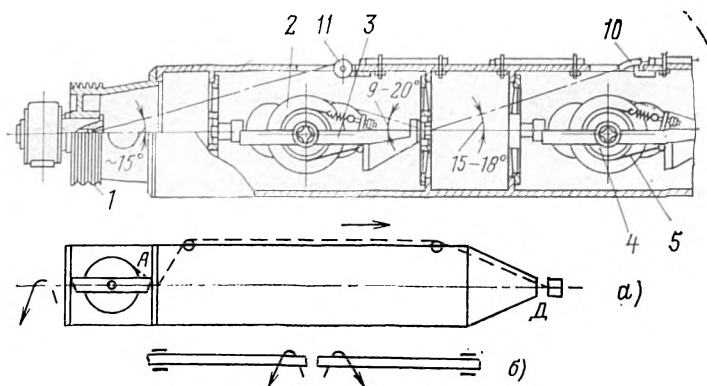


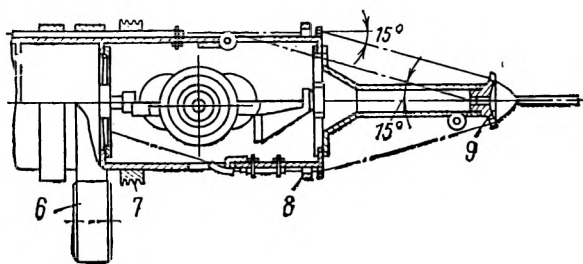
Рис. 9.8. Машина сигарного типа СРН-6/630 для скрутки изолированной — разрез ротора (1 — приводной шкив; 2 — отдающая катушка; 3 — люлька; вода тягового устройства; 4 — контактное кольцо автомата, реагирующего на направляющий ролик); б — схема прохождения проволоки вдоль ротора.

Снижение скорости объясняется также и тем, что при скрутке изолированных жил в кабель требуется уделять большее внимание качеству кабеля, чем при скрутке токопроводящих жил. Выбор модели машины обуславливается длиной изолированной жилы, размещаемой на барабане. Например, на машине фирмы «Материэль де Каблери» (Франция) 6/1050 мм скручивают кабель из жил сечением  $1,5 \text{ мм}^2$  в длинах по 7,5 км и более. Скорость скрутки шахтных кабелей на машине МКГС-6/1000 в 4—5 раз выше, чем на машине 6ВМА-1000. Производительность клетевых машин при скрутке кабеля сечением  $5 \times 4 \text{ мм}^2$  — до 3 км за 8-часовую смену, на машине сигарного типа — до 12 км в смену, т. е. в 4 раза выше. Весьма перспективным является применение для скрутки изолированных жил машин сигарного типа СР6/630, имеющих большую емкость отдающих катушек. Недостатком скрутки изолированных жил на сигарных машинах является невозможность обмотки жил лентами в процессе скрутки.

Для скрутки изолированных жил сечением 6—25 мм<sup>2</sup> получили распространение машины рамочного типа



СД-1250 (рис. 9.9). На них обычно скручивают трех- и четырехжильные кабели с отдающих барабанов, установленных в отдатчики. Изолированная жила с отдающего барабана проходит через направляющую втулку крестовины перед машиной и поступает в калибр машины. Пучок изолированных жил проходит по направляющим рамки, огибает ролик и



ванных жил в кабель.

4 — тормозной шкив; 5 — тормоз катушки; 6 — опорный ролик; 7 — шкив приборыв проволоки; 9 — распределительная коробка; 10 — направляющая; 11 —

поступает на тяговое устройство и приемный барабан с механизмом раскладки. Благодаря двойной скрутке пучка изолированных жил при прохождении через машину и высокой частоте вращения рамки производительность машины составляет 15—32 км в смену.

Скрутку изолированных жил сечением до 4 мм<sup>2</sup> производят также на машинах рамочного типа ЛК-1-Э,

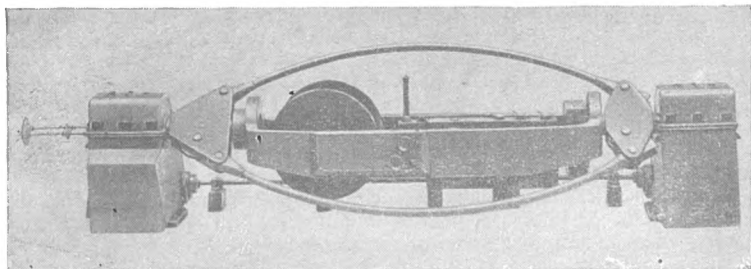


Рис. 9.9. Машина рамочного типа СД-1250 для скрутки изолированных жил в кабель.

ДШЭ-40 и ДШЕ-63. На этих машинах также при прохождении пучка изолированных жил через машину осуществляется двойная скрутка кабеля. Так же, как и на сигарных машинах, на машинах рамочного типа при скрутке изолированных жил работают на скоростях, примерно в 2 раза меньших, чем при скрутке токопроводящих жил. Крутильные машины рамочного типа оборудуют датчиками с тормозами, обеспечивающими равномерное торможение жил, и соответствующими распределительными розетками.

### 9.3. СКРУТКА ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ КАБЕЛЕЙ

Герметизированные судовые и другие кабели скручивают из изолированных герметизированных жил на клетьевых машинах модели МКРД (с откруткой жил) с отдающими катушками 400—500 и 630 мм встроенными между клетями экструдерами, с помощью которых на скручиваемые жилы накладывают герметик. Каждую клеть крутильной машины для подогрева герметизирующего состава снабжают калориферами.

Изолированные жилы, предназначенные для скрутки в кабель, наматывают на отдающие катушки крутильных машин. Намотка провода на катушки должна быть рядовой и плотной. Катушки устанавливают в люльки клетьевой машины и регулируют их торможение для достижения равномерного натяжения жил, которое не должно превышать 11,8 Н при скрутке жил сечением 0,35 мм<sup>2</sup>, 14,7 Н — жил 0,5 мм<sup>2</sup>; 21,6 Н — жил 0,75 мм<sup>2</sup>; 29,9 Н — жил 1,0 мм<sup>2</sup> и 44,1; 73,6 и 117,4 Н — жил 1,5; 2,5 и 4 мм<sup>2</sup>.

Изолированные жилы, сходящие с отдающих катушек, пропускают через направляющие втулки и распределительную розетку. Затем жилы поступают в калибр — матрицу головки экструдера, в которой на жилы накладывают слой герметизирующего состава. Все повивы кабелей для подвижной прокладки (для повышения гибкости) скручивают в одном направлении, а кабелей для неподвижной прокладки — с противоположными направлениями каждого повива (допускают скрутку жил в одном направлении) с откруткой жил. Кабели с числом жил свыше двух и номинальным сечением до 2,5 мм<sup>2</sup> в каждом повиве должны иметь счетную жилу и жилу направления, отличающуюся цветом изоляции от всех остальных. Шаг скрутки изолированных жил во внутренних повивах кабеля не должен превышать 13, а в наружных — 12 диаметров кабеля. При обрыве изолированной жилы ее связывают, а после наложения оболочки этот участок вырезают.

Изолированную жилу или повив пропускают через головку экструдера, в которой накладывают слой герметизирующего состава, кабель с помощью заправочного троса протягивают через полюю ось клетки для наложения следующего повива жил. После заправки клеток машины кабель принимают на тяговое колесо, а затем закрепляют на приемном барабане.

Наложение герметизирующего состава на скрученные изолированные резиной жилы кабеля производят при температуре цилиндра экструдера 50±10°C, а кабелей с пластмассовой изоляцией соответственно 70±15 или 80±15°C. В полюю ось клетки крутильной

машины подают горячий воздух под давлением не менее 196 кПа и температуре при входе в машину 100—110°C. Герметизирующий состав во время скрутки жил в кабель должен заполнить все промежутки между жилами. Допускается герметизацию двухжильных кабелей совмещать с наложением оболочки. Отдельные кабели изготовляют с обмоткой поливинилхлоридной лентой поверх скрученных изолированных жил с герметизацией промежутков между ними. Лентообмотчик для этой цели устанавливают вслед за экструдером и ленты накладывают поверх наружного повива жил.

#### **9.4. СКРУТКА ЖИЛ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ В ПАРЫ И ЧЕТВЕРКИ**

Изолированные жилы кабелей связи сначала скручиваются в группы — пары, четверки, а затем пары или четверки скручиваются вместе, образуя заготовку кабеля, так называемый сердечник. Таким образом, скрутка кабелей связи выполняется не в одну, а в две и более стадий — в зависимости от принятой технологии.

Различие требований, предъявляемых к кабелям местной и дальней связи в части их электрических характеристик (как номинальных значений, так и допусков), обусловило различную технологию их скрутки на обеих стадиях и, следовательно, различные типы крутильного оборудования. Основные различия в требованиях, предъявляемых к процессам скрутки кабелей местной и дальней связи, состоят в следующем: жилы кабелей дальней связи не должны испытывать деформаций кручения, тогда как для жил кабелей местной связи подобные деформации допустимы; как группы жил, так и в целом сердечники кабелей дальней связи должны скручиваться с большей степенью конструктивной симметрии, чем группы и сердечники кабелей местной связи. Поэтому кабели местной связи можно скручивать без открутки, тогда как кабели дальней связи на обеих стадиях обязательно скручивать с откруткой. Значит для скрутки пар и четверок кабелей местной связи можно применять быстроходные рамочные машины, а скрутка четверок кабелей дальней связи должна производиться на клетьевых или подобных им машинах. Общая скрутка сердечника кабелей дальней связи должна быть повивная, с чередованием направлений смежных повивов и с расположением групп в повивах в строгом соответствии с законом правильной скрутки. Скрутка сердечника кабелей местной связи может быть различной: однонаправленной — повивной, пучковой или разнонаправленной — волновой, циклической. Все повивы

сердечника могут скручиваться в одну сторону, и допускается отступление от закона правильной скрутки при распределении групп по повивам.

Более жесткие требования предъявляются к согласованию шагов скрутки и к системам расцветки кабелей дальней связи, особенно высокочастотных, по сравнению с кабелями местной связи. Указанное различие сказывается на технологии комплектования жил при скрутке в группы и групп при скрутке сердечника. Для скрутки сердечника кабелей дальней связи могут применяться, следовательно, машины с крутильно-отдающим устройством, причем именно клетьевые, реже — с крутильно-приемным устройством. Скрутка сердечников кабелей местной связи может производиться на машинах любых типов.

#### **9.4.1. Скрутка жил кабелей местной связи в пары и четверки**

Для скрутки изолированных жил кабелей местной связи в группы применяются, главным образом, рамочные быстроходные машины с крутильной рамкой, вращающейся либо вокруг отдающего, либо вокруг приемного устройства (т. е. машины однонаправленной скрутки 3-го и 4-го типов — см. рис. 2.10 и 2.11 — согласно классификационной схеме табл. 2.1). Внедряют машины смешанного класса для одновременной разнонаправленной скрутки жил в группы и однонаправленной скрутки групп в элементарный пучок. Эти машины будут рассмотрены в § 9.6.

Выбор типа машин для скрутки групп зависит от общей схемы производственного процесса, от предшествующего (изолировочного) и последующего (машин для скрутки сердечников) оборудования и, в частности, его тары. Жилы с бумаго-массных и бумагообмоточных изолировочных машин принимаются на катушки. Катушки могут быть установлены как вне, так и внутри вращающейся рамки, т. е. на отдающем или приемном устройстве. Следовательно, для скрутки таких жил пригодны машины обоих типов. При этом вне рамки, естественно, могут устанавливаться катушки больших габаритов, чем внутри. Следовательно, выгоднее выносить за пределы рамки приемную катушку. Окончательный выбор зависит от соотношения размеров тары изолировочных машин и машин общей скрутки,

Жи́лы с полиэтиленовой изоляцией принимаются с автоматических линий в контейнеры. Следовательно, скрутка их в группы производится на машинах с неподвижным отдающим устройством и с рамкой, вращающейся вокруг приемной катушки. И те, и другие машины могут иметь как вертикальное, так и горизонтальное исполнение.

Схема вертикальной парокрутильной машины показана на рис. 9.10,а. Обе жилы, сходя с отдающих катушек 1, расположенных на центральной стойке 12, проходят под натяжным роликом 15 и через направляющее конусное кольцо 13, являющееся нижней частью неподвижной центральной стойки. Обе жилы совместно огибают ролик 2 нижней крутильной головки и входят в одну из двух полых крутильных трубок 6, образующих крутильную рамку и жестко соединенных с обеими крутильными головками. При вращении крутильной рамки вокруг неподвижного отдающего устройства скрутка жил происходит в пространстве между неподвижным кольцом 13 и вращающимся роликом 2. Пройдя сквозь трубку, скрученная пара по выходе из верхнего конца трубки огибает ролик 3 верхней крутильной головки 11 и поступает на направляющий ролик 14, жестко укрепленный на станине машины. В пространстве между верхним роликом 3, вращающимся вокруг центральной оси машины, и роликом 14, находящимся в неподвижном держателе, вторично происходит сочетание двух движений — поступательного и вращательного. Следовательно, в этом месте жилы, уже скрученные в пару у нижнего основания крутильной рамки,

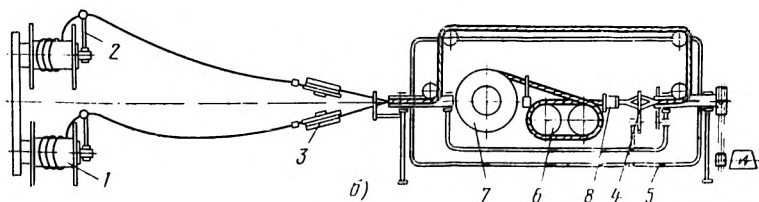
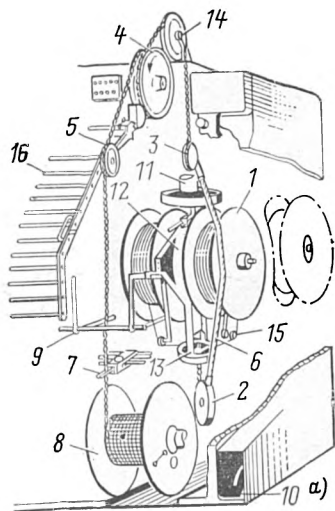


Рис. 9.10. Схемы рамочных машин для скрутки в группы жил кабелей местной связи.

а — вертикальной парокрутильной с рамкой, вращающейся вокруг отдающего устройства; б — горизонтальной с рамкой, вращающейся вокруг приемного устройства.

претерпевают еще один оборот вокруг геометрической оси скрутки в том же самом направлении, что и ранее. После верхнего направляющего ролика скрученная пара огibt тяговое колесо 4, проходит по натяжному ролику 5 и через вилку раскладчика 7 поступает на приемную катушку 8. Вращающий момент дискового фрикциона приемного устройства регулируется действием рычага, несущего на своем конце натяжной ролик 5, по которому проходит скрученная пара.

Отдающее устройство представляет собой две полуоси для установки катушек с жилой, консольно укрепленные на центральной неподвижной стойке, установленной между верхней и нижней вращающимися «крутильными» головками. Регулирование натяжения жил, сходящих с отдающих катушек, осуществляется посредством ленточных тормозов, тормозной момент которых изменяется под воздействием рычагов, несущих на своих концах натяжные ролики, по которым проходят жилы. Загрузка отдающих катушек производится посредством приспособления 9, а пуск машины осуществляется нажатием педали 10. Перед пуском машины задвигается ограждение 16.

Крутильная рамка состоит из двух диаметрально расположенных изогнутых трубок, жестко соединенных с верхней и нижней крутильными головками. При работе машины рамка и крутильные головки вращаются вокруг неподвижного отдающего устройства. Обе скручиваемые жилы проходят через одну и ту же трубку; вторая трубка служит только для динамической балансировки машины. Частота вращения крутильной рамки 800—1000 об/мин.

В 70-е годы большее распространение получили горизонтальные машины с рамкой, вращающейся вокруг приемного и тягового устройств.

Схема одной из них — для скрутки жил в пары или четверки изображена на рис. 9.10,б. Отдающее устройство — неподвижное, допускающее установку контейнеров или катушек со съемом жилы через щеку посредством флайера 2 (свободно или принудительно вращающегося поводка). Равномерное натяжение скручиваемых жил 1 обеспечивается регулируемым тормозными шайбами 3 и может контролироваться динамометрами. Для симметричного расположения жил при скрутке их в четверку служит специальное корректирующее приспособление 4 в виде распределительной розетки, установленной внутри рамки 5 перед тяговым устройством 6. Жилы дважды скрученной четверки пропускаются через отверстия корректирующей розетки 4, которая вращается с удвоенной частотой по отношению к частоте вращения крутильной рамки и в ту же сторону, что и рамка. При этом четверка полностью раскручивается на участке между крутильной рамкой и розеткой и упорядоченно скручивается в обратном направлении на участке между розеткой и калибром 8. Диаметр щеки приемной катушки 7 в подобных машинах 400 мм.

Для машин обоих типов характерна двойная скрутка изделия за один оборот крутильной рамки.

Скручиваемые в группы жилы должны иметь различную расцветку изоляции. Шаги скрутки пар и четверок, как правило, не превышают 100 мм. Соседние в повивах группы должны иметь различные шаги скрутки.

#### 9.4.2. Скрутка жил кабелей дальней связи в четвёрки

Для скрутки в четверки жил кабелей дальней связи с кордельно-бумажной, кордельно-полистирольной, сплошной и пористой полиэтиленовой изоляцией в отечественной практике наиболее широко применяется вертикальная двухходовая машина с крутильно-отдающим устройством модели СЗЧ-2.

Общий вид машины показан на рис. 9.11,а, а ее кинематическая схема — на рис. 9.11,б. В центре крутильного диска *I* (рис. 9.11,а) установлена вертикальная труба, на верхний конец которой надевается держатель для крепления катушки с корделем *5*, используемым в качестве заполнения, пропускаемого в центре четверки для придания ей устойчивой круглой формы. Открутка отдающих катушек *2* с жилами осуществляется посредством планетарной передачи *7*. Пряжеобмотчик *6* представляет собой диск, насаженный на втулку, вращающуюся в шарикоподшипниках. К диску приварены центральный полый стержень, сквозь который проходит скрученная четверка и на который надета гильза под бобину с пряжей, и направляющий палец для хлопчатобумажной нити. Нить с бобины, установленной на гильзе, огибает направляющий палец и поступает на четверку. Снизу в гнездо корпуса пряжеобмотчика вставляется стальной калибр *3*, закрепляемый винтом. Для создания одинаковых углов входа жил разговорной пары в неподвижный калибр ось пряжеобмотчика установлена под углом  $5^\circ$  к оси крутильного диска. Пройдя пряжеобмотчик, скрученная четверка поступает на тяговое колесо *4* и далее на приемное устройство.

От электродвигателя через шкивы, соединенные клиновидными ремнями, вращение передается сначала валу *I* (рис. 9.11,б) и от него через пару сменных шестерен *A* и *B* — главному валу *II*, на котором передвигаются по шпонке две конические шестерни ( $z=28$ ). Далее вращение одной из этих шестерен (в зависимости от заданного направления скрутки четверки — по часовой или против часовой стрелки) передается конической шестерне ( $z=56$ ), соосной с цилиндрической шестерней ( $z=60$ ); последняя в свою очередь сцеплена с шестерней крутильного диска ( $z=200$ ), которому в конечном счете и передается вращение. На валу *II* имеется червяк ( $z=3$ ), сцепленный с червячной шестерней ( $z=32$ ), сидящей на вертикальном валу *III*, другой конец которого приводит во вращение систему сменных шестерен *B*, *Г*, *Д*, *Е* гитары, предназначенной для установления определенной частоты вращения тягового колеса, соответствующей заданному шагу скрутки четверки. Далее вращение передается коническим шестерням ( $z=24$ ), с одной из которых наглухо соединена звездочка ( $z=34$ ), сообщающая через цепь движение тяговому приводному механизму ( $z=76$ ;  $z=13$ ;  $z=90$ ), вращающемуся, следовательно, постоянно в одном направлении.

Пряжеобмотчик может вращаться (в зависимости от направления скрутки четверки — правого или левого) как по часовой, так и против часовой стрелки. Реверсивное вращение обмотчика обеспечивается муфтой, находящейся попеременно в зацеплении то с левой, то с правой конической шестерней ( $z=24$ ).

Открутка отдающих катушек осуществляется системой из неподвижной шестерни ( $z=28$ ), сидящей на оси крутильного диска, и подвижных шестерен ( $z=56$  и  $z=28$ ).

Основные паспортные данные машины СЗЧ-2:

1. Частота вращения главного вала,  $n$ , об/мин

$$n_{г, в} = 1410 \frac{132}{200} \frac{A}{B} = 930 \frac{A}{B}.$$

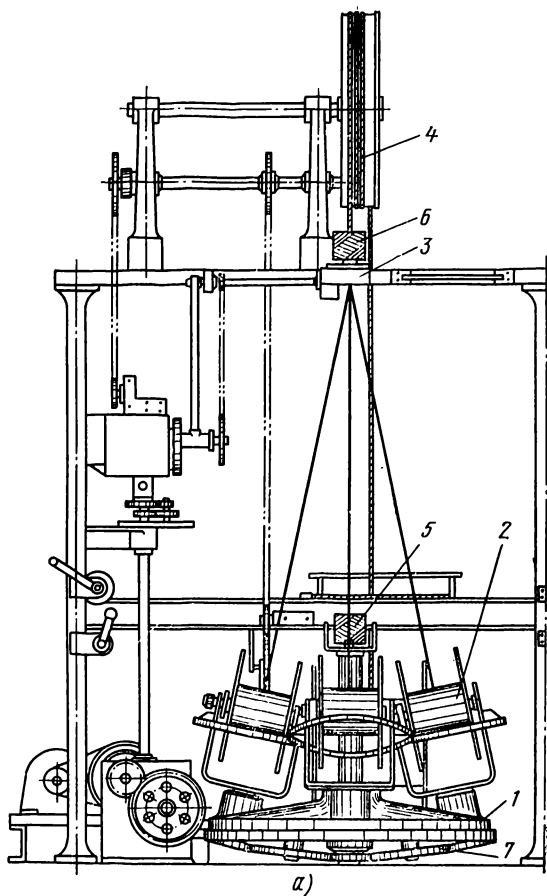
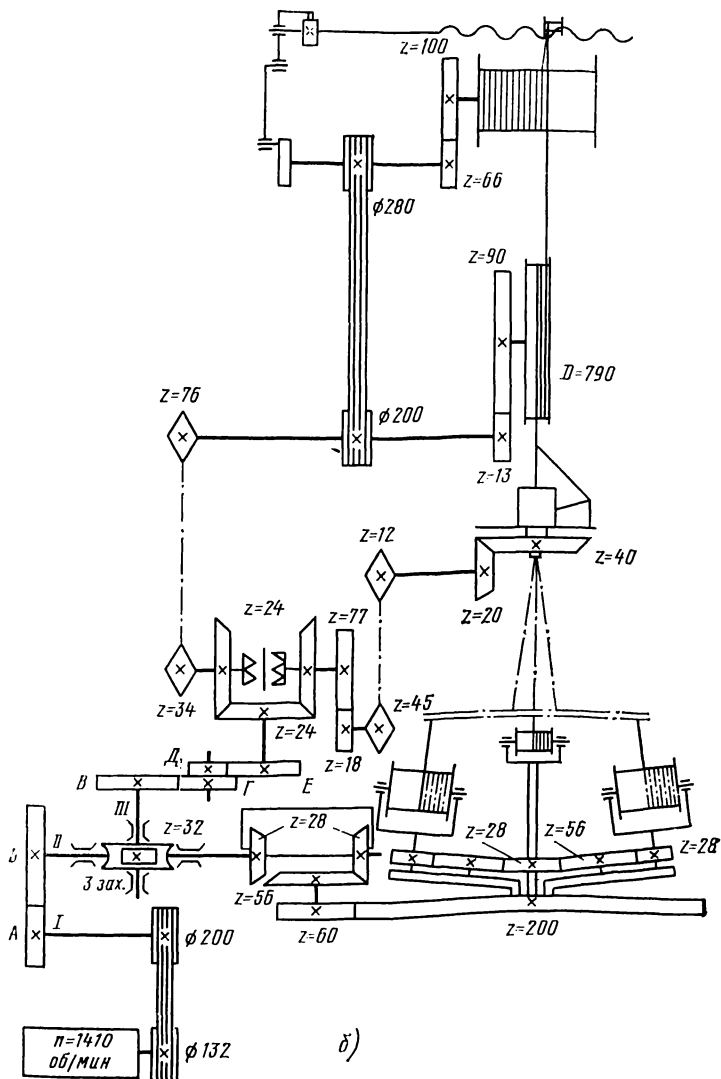


Рис. 9.11. Вертикальная машина модели СЗЧ-2 для скрутки жил  
 а — общий вид; б — кинематическая схема одного хода; 1 — крутильный диск;  
 с корделем для центрального заполнения четверки; 6 — пряжеобмотчики; 7 —



2. Частота вращения крутильного диска, об/мин,

$$n_{кр} = n_{г,в} \frac{28}{56} \frac{60}{200} = 930 \frac{A}{B} \frac{28}{56} \frac{60}{200} = 139,5 \frac{A}{B}.$$



кабелей дальней связи в четверки.

2 — отдающие катушки; 3 — калибродержатель; 4 — тяговое колесо; 5 — бобина закрытый планетарный механизм открутки.

3. Частота вращения тягового колеса, об/мин,

$$n_{т,к} = n_{г,в} \frac{3BD \cdot 24 \cdot 34 \cdot 13}{32GE \cdot 24 \cdot 76 \cdot 90} = 930 \frac{A \cdot 442i}{B \cdot 73 \cdot 000} = 5,63 \frac{A}{B} i.$$

4. Линейная скорость скрутки, м/мин,

$$v_{л} = \frac{n_{т,к} \pi D_{т,к}}{1000} = 5,63 \frac{A}{B} i \frac{3 \cdot 14 \cdot 790}{1000} = 14,05 \frac{A}{B} i.$$

5. Шаг скрутки четверки, мм,

$$H = \frac{v_{л} \cdot 1000}{n_{кр}} = \frac{14,05 \frac{A}{B} i \cdot 1000}{139,5 \frac{A}{B}} = 101 i = 101 \frac{BD}{GE},$$

где  $i = (B/G) \cdot (D/E)$  — передаточное отношение гитары привода тягового механизма.

6. Частота вращения пряжеобмотчика, об/мин,

$$n_{пр} = n_{г,в} \frac{3BD \cdot 24 \cdot 77 \cdot 45 \cdot 20}{32GE \cdot 24 \cdot 18 \cdot 12 \cdot 40} = 930 \frac{A}{B} \frac{385}{512} i = 700 \frac{A}{B} i.$$

7. Шаг обмотки пряжей, мм,

$$h_{пр} = \frac{v_{л} \cdot 1000}{n_{пр}} = \frac{14,05 \frac{A}{B} i \cdot 1000}{700 \frac{A}{B} i} = 20,1;$$

здесь  $A, B, B, G, D, E$  — числа зубцов соответствующих сменных шестерен.

Частота вращения крутильного диска около 70 об/мин. Линейная скорость при среднем шаге скрутки четверок 200 мм составляет около 14 м/мин ( $v_{л} = nH$ ). Шаг скрутки четверок обычно составляет 100—300 мм, направление скрутки жил в четверку — левое. Меньшие шаги скрутки не применяются вследствие большой укрутки жилы и увеличенного за счет этого расхода материалов, а также малой производительности крутильного оборудования. Четверки, скрученные с большими шагами, имеют недостаточную механическую устойчивость и гибкость, а также нестабильные электрические характеристики.

В низкочастотных кабелях типа ТЗ достаточно чередовать в каждом повиве четверки с различными шагами скрутки  $H_1$  и  $H_2$ . Если в повиве нечетное число четверок, то одна из них скручивается с шагом  $H_3$ , отличным от двух других шагов ( $H_1 \neq H_2 \neq H_3$ ).

Для изготовления высокочастотных кабелей, например типов МК, МКС, в связи с возрастанием взаимных влияний между цепями на высоких частотах необходимо, чтобы все четверки скручивались с различными шагами. Так, например, в кабелях типа МКС  $4 \times 4$  четверки скручены с шагами  $H_1=116$ ;  $H_2=264$ ;  $H_3=157$ ;  $H_4=192$  мм, а в кабелях  $7 \times 4$  добавляются шаги скрутки четверок  $H_5=135$ ;  $H_6=167$  и  $H_7=231$  мм.

Соответствующим образом подбираются сменные пары шестерен  $B-G$  и  $D-E$  на машине СЗЧ-2.

Скрученная четверка обматывается по открытой спирали цветной хлопчатобумажной пряжей или окрашенной лентой из кабельной бумаги. Шаг обмотки пряжей или лентой 20—30 мм. Эта пряжа (или лента) скрепляет четверку и одновременно является опознавательной, так как каждому шагу скрутки соответствует определенный цвет повивной нитки или ленты.

При скрутке звездных четверок большое значение имеет равенство натяжений отдельных жил, входящих в состав четверки. Обычно эти натяжения равны 4—8 Н. Измерение натяжения отдельных жил производится с помощью пружинных динамометров. Если жилы скручены с одинаковым натяжением, четверки получаются симметричными. Если жилы при скрутке имели различное натяжение, то в готовой четверке они располагаются несимметрично относительно центра и в результате возникает взаимное влияние между цепями.

В процессе скрутки желательнее обеспечить устойчивость формы четверки на дальнейших технологических операциях при перемотках. С этой целью непосредственно перед входом жил в калибр целесообразно устанавливать распределительную розетку, а в центре четверки располагать твердое заполнение из пластмассового или бумажного корделя. Введение несминаемого заполнения внутрь четверки ограничивает возможность перемещения жил и повышает стабильность электрических параметров кабелей.

Все четверки следует проверять путем внешнего осмотра на соответствие конструктивным размерам, на целостность жил и отсутствие контактов между ними, а также измерять электрическое сопротивление и омическую асимметрию жил  $a$  и  $b$  в рабочих цепях ( $\Delta R = R_a - R_b$ ). Кроме того, в четверках часто измеряются рабочая емкость пар и коэффициенты емкостных связей  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$ .

## 9.5. ПОВИВНАЯ СКРУТКА КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

### 9.5.1. Скрутка кабелей местной связи

В связи с явными преимуществами пучковой скрутки кабелей местной связи повивная их скрутка применяется все в меньших масштабах: либо применительно к отдельным разновидностям кабелей, например станции-

онным, либо с целью использования действующего еще оборудования. Повивная скрутка осуществляется преимущественно на многодисковых машинах без открутки. Число дисков обычно 2—5. На двухдисковой машине можно в один проход скрутить 30-парный сердечник по схеме 4+10+16; на трехдисковой — 50-парный в один

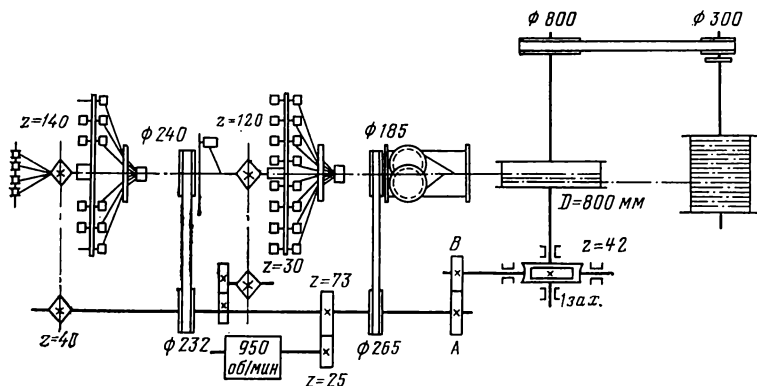


Рис. 9.12. Кинематическая схема двухдисковой машины для повивной скрутки малопарных городских телефонных кабелей.

проход (4+10+16+21) и 100-парный в два прохода, на пятидисковой — 100-парный сердечник в один проход по схеме 2+8+14+20+26+32 (при всех этих схемах 4 или 2 пары располагаются в центральном повиве параллельно без скрутки). Частота вращения дисков в зависимости от числа отдающих катушек на них 40—90 об/мин. Соседние диски вращаются в противоположных направлениях.

После каждого диска располагаются стойка с калибром и эксцентричный пряжеобмотчик для обмотки по открытой спирали каждого повива пряжей. После последнего (выходного) калибра помещается бумагообмотчик для наложения поясной изоляции. Дисковые машины просты в обслуживании. Кинематическая схема двухдисковой машины приведена на рис. 9.12.

Кратность шага скрутки для внутренних повивов сердечника допускается до 40—45 и даже 50, а для наружного повива — не более 30—35. В каждом повиве должно быть по одной счетной и одной направляющей

группе, резко отличных по расцветке изоляции жил одна от другой и от всех остальных групп в повиве. Наряду с дисковыми могут применяться и клетьевые машины, работающие без открутки, так называемые жестко-рамные.

### 9.5.2. Скрутка симметричных кабелей дальней связи

Скрутка симметричных кабелей дальней связи осуществляется на клетьевых машинах, обеспечивающих открутку скручиваемых четверок. Для скрутки высокочастотных кабелей, содержащих, как правило, четыре или семь четверок, применяются одноклетьевые машины, вмещающие шесть отдающих катушек. Для скрутки многоэлементных низкочастотных кабелей наиболее удобны двухклетьевые машины, допускающие установку  $6+12$ ;  $12+18$  или  $12+24$  катушек.

Размеры клеток, входящих в состав одной машины, и, следовательно, их частоты вращения (а также направления вращения) различны. Для более эффективного использования двухклетьевых машин привод их устроен таким образом, что при необходимости обеспечивается синхронное вращение обеих клеток в одну сторону. Благодаря этому в образовании одного повива могут одновременно участвовать все заготовки (четверки) с обеих клеток. Так, на машине  $6+12$  в этом случае можно скрутить за два прохода кабель, содержащий 37 четверок. За первый проход скручивается  $1+6+12=19$  четверок; за второй проход дополнительно накладывается один повив из 18 четверок. На машине  $12+24$  можно скручивать кабель с числом групп по 127. Последовательность образования кабеля при этом указана в табл. 9.1.

В приведенном примере можно сократить число проходов скручиваемого кабеля через двухклетьевую машину с пяти до четырех. Это достигается при условии скрутки заготовки из  $1+6$  четверок на одноклетьевой машине. Тогда за первый проход на двухклетьевой машине на заготовку будут наложены два повива из  $12+18$  четверок, а далее — согласно табл. 9.1.

При синхронном вращении обеих клеток в одном направлении четверки с отдающих катушек первой клетки проходят мимо розетки своей клетки и пропускаются через розетку второй клетки вместе с четверками, сходящи-

Схема установки отдающих катушек в двухклетевой машине при скрутке кабеля  $127 \times 4$

Порядковый номер прохода	Количество четверок, накладываемых			Число одновременно накладываемых пивовов	Направления вращения обеих клеток
	с I клетки	со II клетки	одновременно с I и II клетей		
1-й	1*+6	12	—	2	Разные
2-й	—	18	—	1	—
3-й	—	24	—	1	—
4-й	6 или 12	24 или 18	30	1	Одинаковые
5-й	12	24	36	1	„

\* Одна катушка устанавливается на неподвижной отдающей стойке перед клетью.

ми с этой клетки. Машины с числом клеток более двух для скрутки кабелей дальней связи отечественной промышленностью не применяются, так как в соответствии с действующей документацией максимальное число четверок в этих кабелях составляет 114. Общий вид трехсекционной 18-катушечной клетки показан на рис. 9.13.

Установка отдающих катушек с четверками в люльки крутильных клеток должна производиться в соответствии со схемой согласования шагов скрутки. Например, для скрутки низкочастотного кабеля типа ТЗ  $27 \times 4$  по системе  $3+9+15$  порядок загрузки клеток следующий. Для первого прохода в первую клетку устанавливают катушки с четверками № 1—3, имеющими шаги скрутки соответственно  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$ ; во второй клетке располагают девять четверок: № 1— $H_1$ ; № 2— $H_2$ ; № 3— $H_1$ ; № 4— $H_2$ ; № 5— $H_1$ ; № 6— $H_2$ ; № 7— $H_1$ ; № 8— $H_2$  и № 9— $H_3$ . Для второго прохода во вторую клетку (первую отключают) загружают 15 отдающих катушек, чередующихся аналогично, т. е. № 1— $H_1$ ; № 2— $H_2$ ; ...; № 13— $H_1$ ; № 14— $H_2$  и № 15— $H_3$ .

На взаимные влияния между цепями большое воздействие оказывает равенство натяжений скручиваемых четверок. Регулирование натяжений четверок производится с помощью фрикционных тормозов, установленных на отдающих катушках. Натяжение каждой четверки периодически проверяется с помощью динамометров. Оптимальное натяжение четверок 10—15 Н.

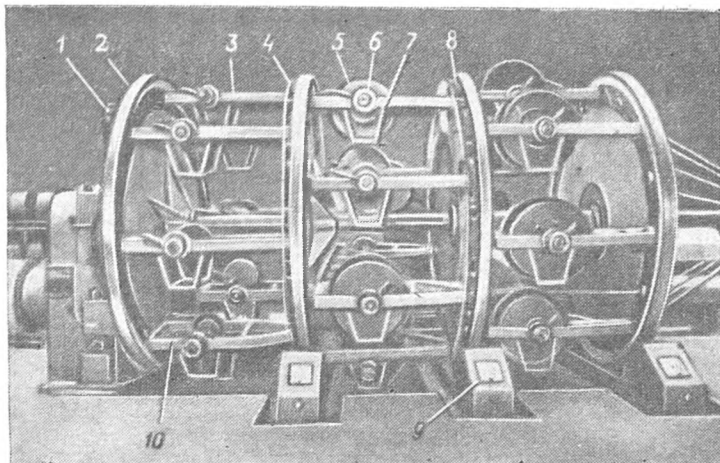


Рис. 9.13. Общий вид клетки для скрутки с откруткой кабелей дальней связи.

1, 4, 8 — закрытый планетарный механизм открутки; 2 — клеть; 3 — люлька; 5, 10 — тормоз отдающей катушки; 6 — отдающая катушка; 7 — опорная площадка для перезаправки отдающих катушек, закрепляемых в пинолях; 9 — кожух опорного ролика.

Кратность шага скрутки зависит, во-первых, от типа кабеля, и, во-вторых, от местоположения данного повива. Кратность шага скрутки внешних повивов низкочастотных кабелей дальней связи (типов ТЗ, ТДС и т. п.) не должна превышать 20—25, а высокочастотных симметричных кабелей (МК, МКС) — 18—20. В каждом повиве сердечника должны быть счетная и направляющая четверки с отличительными расцветками. Для удобства отделения повивов при монтаже кабеля каждый повив обматывается по открытой спирали нитью хлопчатобумажной пряжи с шагом 40—120 мм.

На скрученный кабель накладывается поясная изоляция из трех-четырёх лент кабельной бумаги. В то время как в кабелях с кордельно-бумажной изоляцией жил поясная изоляция скрепляет сердечник и защищает его от механических повреждений, в кабелях с кордельно-полистирольной и полиэтиленовой изоляцией жил поясная изоляция, кроме того, служит тепловым барьером, защищающим пластмассовую изоляцию жил от перегрева в процессе наложения оболочки.

Скрутка комбинированных кабелей типа ТДС, состоящих из разнородных симметричных элементов, производится таким образом, чтобы в центре располагались экранированные элементы, а в наружном повиве — неэкранированные. При скрутке таких кабелей на двухклетевых машинах между первой и второй клетью устанавливается бумагообмотчик, посредством которого накладывается изоляция из трех-четырех лент кабельной бумаги  $K=120$  между экранированными и неэкранированными элементами.

### 9.5.3. Скрутка коаксиальных магистральных кабелей

Одним из основных условий скрутки коаксиальных магистральных кабелей является недопустимость деформаций коаксиальных пар, так как малейшая деформация трубки внешнего проводника вызывает местную неоднородность волнового сопротивления цепи. Исходя из этого требования выбираются габариты и определяется компоновка отдельных узлов машин, специально предназначенных для скрутки указанных кабелей. Сказанное, прежде всего, относится к размерам отдающей и приемной тары. Если для симметричных четверок кабелей дальней связи стандартные отдающие катушки имеют диаметры щеки 600 мм и шейки 250 мм, то коаксиальные пары следует транспортировать внутри цеха на барабанах с диаметром щеки 1300—1800 мм и соответственно диаметром шейки 1100—1400 мм. При намотке на такие барабаны радиус изгиба коаксиальной пары будет равен не менее 40—50 ее диаметрам. Естественно, размеры клеток для скрутки коаксиальных пар в кабель превышают размеры клеток, предназначенных для установки такого же количества симметричных элементов.

Известны две разновидности машин, специально предназначенных для скрутки коаксиальных кабелей. Первая из них — клетевая с кривошипным механизмом открутки. Для уменьшения числа изгибов коаксиальных пар применено приемное устройство, совершающее возвратно-поступательное движение перпендикулярно оси скручиваемого кабеля, благодаря чему и осуществляется его рядовая укладка на приемном барабане. Вилка раскладчика при этом неподвижна. Некоторым недо-



статком машины является наличие тягового колеса, вокруг которого кабель изгибается несколько раз.

Более совершенна машина с неподвижным отдающим и крутильно-приемным устройством (рис. 9.14). Отдающим устройством машины служат независимые одна от другой большие люльки, укрепленные консольно с наклоном, соответствующим углу скрутки коаксиальных пар. С целью уменьшения высоты отдающего устройства одна из люлек утоплена. Каждая люлька вращается только вокруг собственной оси с целью осуществления открутки. Вращение люлек обеспечивается индивидуальными коллекторными электродвигателями, закрепленными каждый на задней торцевой стороне люльки. Регулирование частоты вращения электродвигателей производится с общего пульта управления машиной. Благодаря наклонному расположению люлек коаксиальные пары, сходящиеся с отдающих барабанов, не претерпевают никаких изгибов на всем пути до формирующего калибра. Благодаря использованию электродвигателей (вместо механических

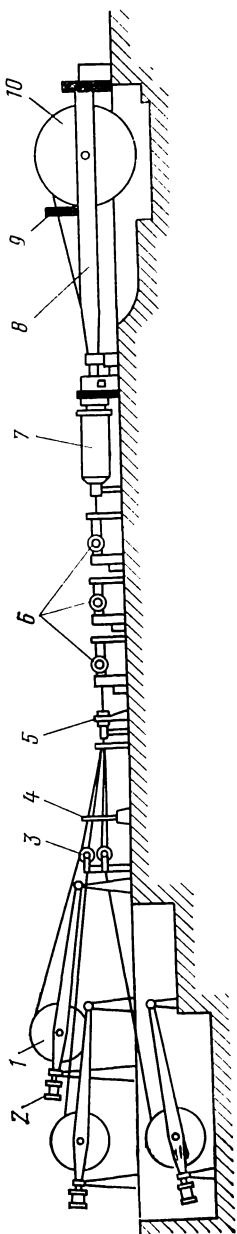


Рис. 9.14. Схема машины для общей скрутки коаксиальных кабелей с тяговым и приемным устройствами, вращающимися вокруг оси скрутки.  
 1 — отдающие барабаны с коаксиальными парами; 2 — электродвигатели открутки отдающих люлек; 3 — отдающие катушки с симметричными группами; 4 — распределительная розетка; 5 — калибр; 6 — бумагообмотчики; 7 — гусеничное тяговое устройство; 8 — люлька приемного устройства; 9 — вилка раскладчика; 10 — приемный барабан.

устройств) можно обеспечить открутку коаксиальных пар не на  $360^\circ$ , а точно на угол, равный углу их закрутки. Впереди люлек расположен неподвижный диск, на котором жестко укрепляются пять отдающих катушек со служебными четверками, не получающими открутки.

Гусеничное тяговое устройство, находящееся в длинной цилиндрической трубе, состоит из трех гусеничных цепей. Приемное устройство рассчитано на барабан диаметром до 3,5—4 м. Тяговое и приемное устройства синхронно вращаются вокруг оси скрутки с частотой 20—25 об/мин, Кратность шага скрутки коаксиальных кабелей 30—32.

## 9.6. ПУЧКОВАЯ СКРУТКА КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Пучковая скрутка применяется для образования сердечников кабелей местной связи. Для пучковой скрутки применяются как однородные машины, имеющие один крутильный узел, так и комбинированные машины с двумя разнородными крутильными узлами. Из однородных пригодны машины с крутильно-приемным устройством и с рамкой, вращающейся либо вокруг отдающего (при скрутке элементарных 10-парных пучков), либо вокруг приемного устройства (при непосредственной скрутке из групп главных 50- или 100-парных пучков). В связи с унификацией сердечников пучковой скрутки на основе элементарных  $10 \times 2$  ( $5 \times 4$ ) пучков однородные рамочные машины находят все меньшее применение. Однородные машины с крутильно-приемным устройством широко применяются для скрутки многопарных сердечников из главных пучков. Подобная машина, схематически изображенная на рис. 9.15, состоит из неподвижного отдающего устройства 1, распределительной розетки 2, неподвижного калибра 3, бумагообмотчика 4, тягового 5 и приемного 6 устройств, помещенных в двух синхронно вращающихся или спаренных клетях 7

Отдельные пучки, сходящие с отдающих барабанов, проходят через массивную неподвижную распределительную розетку и калибр, после чего обматываются двумя лентами кабельной бумаги. Место наложения поясной изоляции находится непосредственно перед входом кабеля в тяговое устройство. Сердечник, обмотанный бумагой, поступает в гусеничное тяговое устройство,

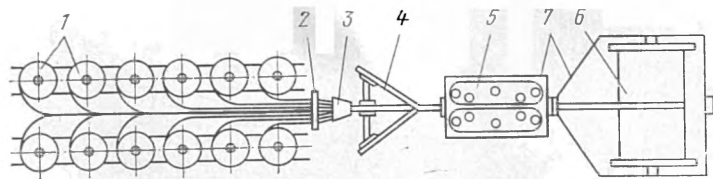


Рис. 9.15. Схема машины для общей скрутки пучков в кабель.

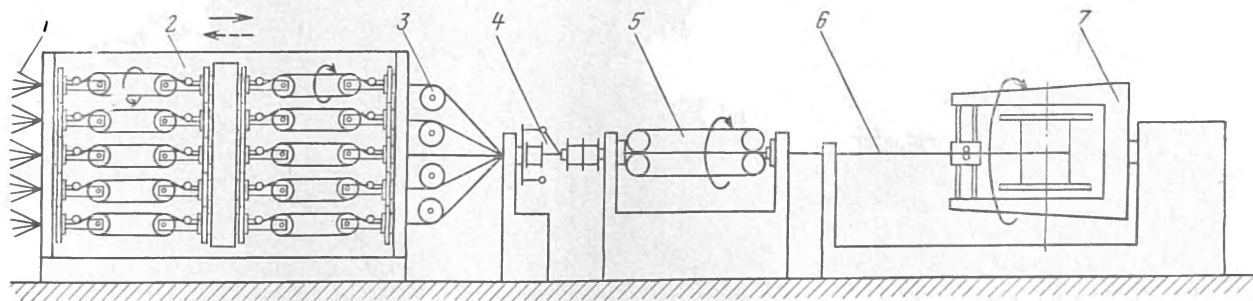


Рис. 9.16. Схема машины для одновременной скрутки 20 изолированных жил в пять четверок и последних в элементарный пучок.

1 — 20 изолированных жил; 2 — пять пар накопителей; 3 — направляющие ролики; 4 — нитеобмотчик; 5 — вращающееся гусеничное тяговое устройство; 6 — элементарный пучок; 7 — крутильно-приемное устройство.

вращающееся вокруг оси скрутки, и далее на приемный барабан, также вращающийся вокруг этой оси. Вращение клетки, в которой расположено приемное устройство, происходит с той же частотой (синхронно) и в том же направлении, что и вращение клетки с тяговым устройством. Скрутка пучков в сердечник происходит на участке между неподвижным калибром и вращающимся вокруг оси скрутки тяговым устройством.

Отдающее устройство представляет собой рельсовый путь, на котором в два ряда устанавливаются вертикальные отдающие барабаны с пучками. Для регулирования натяжения пучков, из которых скручиваются сердечник, под каждым барабаном располагается приспособление для торможения.

Для скрутки элементарных и главных пучков, а также малопарных сердечников (с числом пар до 100) применяются комбинированные машины пучково-волновой или пучково-циклической скрутки, выполняющие одновременно две операции. Общим для обоих типов машин является наличие крутильно-приемного устройства, осуществляющего вторую (завершающую) операцию пучковой скрутки. Первая операция осуществляется либо колебательно-вращающимися розетками (волновая скрутка), либо вращающимися накопителями (циклическая скрутка). Совмещение в одной машине двух крутильных операций возможно при обязательном условии, что одна из них является операцией разнонаправленной скрутки, допускающей непрерывность процесса. Последнее обеспечивается благодаря тому, что разнонаправленная скрутка осуществляется промежуточным вращающимся крутильным устройством при неподвижных отдающем и приемном устройствах.

Наиболее известны два технологических варианта использования комбинированных машин пучково-разнонаправленной скрутки. По первому из них производится волновая скрутка заранее скрученных групп (пар или четверок) в несколько элементарных пучков, которые, в свою очередь, однонаправленно скручиваются в сердечник (или в главный пучок). Схема машины пучково-волновой скрутки была показана на рис. 2.18. Машина имеет неподвижное отдающее устройство, рассчитанное на установку до 100 катушек с парой (или до 50 катушек с четверкой). В первой неподвижной стойке размещены три подвижные розетки, а во второй стойке —

семь. По выходе из колебательно-вращающейся розетки каждый пучок обматывается цветной хлопчатобумажной или капроновой нитью или прядью (или же цветной синтетической лентой). При этом контрольному пучку присвоен красный, а направляющему — синий цвет.

Далее все элементарные пучки поступают через неподвижную распределительную розетку в калибр, затем проходят вдоль ните- и лентообмотчиков, где обматываются либо нитью, если скручивается главный пучок, либо бумажной, пластмассовой или синтетической лентой, если скручивается сердечник, после чего поступают в тяговое и приемное устройства, синхронно вращающиеся вокруг оси скрутки. При скрутке сердечника (главного пучка) с числом пар менее 100 ( $< 50$  четверок) розетки одной из стоек отключаются. Скрученные главные пучки направляются на вышеупомянутую машину пучковой скрутки (см. рис. 9.15).

По второму варианту производится одновременная разнонаправленная циклическая скрутка изолированных жил в четверки и однонаправленная скрутка пяти четверок в элементарный пучок. На рис. 9.16 приведена схема машины с пятью сдвоенными накопителями. В каждой паре оба последовательно расположенных накопителя вращаются в противоположные стороны (см. рис. 2.21). Так как линейная скорость на входе в крутильный узел и на выходе из него постоянна, то подобное устройство для разнонаправленной скрутки сочетается с последующим крутильно-приемным устройством. Каждая пара накопителей скручивает одну четверку; причем шаги скрутки всех пяти четверок различны, так как различны частоты вращения каждой пары накопителей. Далее посредством вращающихся синхронно тягового и крутильно-приемного устройств все пять четверок скручиваются в элементарный пучок. Элементарные пучки скручиваются в главные пучки (или в малопарные кабели), а главные — в многопарные кабели в две отдельные операции на однородных машинах однонаправленной пучковой скрутки типа показанной на рис. 9.15. Таким образом, из четырех крутильных операций, необходимых для образования многопарных кабелей, а именно: 1) скрутки групп (пар, четверок); 2) скрутки элементарных  $10 \times 2$  ( $5 \times 4$ ) пучков; 3) скрутки главных  $50 \times 2$  или  $100 \times 2$  ( $25 \times 4$ ;  $50 \times 4$ ) пучков или малопарных кабелей; 4) скрутки многопар-

ных кабелей в первом технологическом варианте совмещаются вторая и третья, а во втором — первая и вторая операции.

Внедрение принципиально новых машин разнонаправленной скрутки открыло широкие возможности совмещения как однородных, так и разнородных технологических операций. Так, при построении технологического потока по второму варианту можно объединить третью операцию — циклической разнонаправленной скрутки малопарных сердечников из элементарных пучков с операциями продольного наложения экрана и наложения пластмассовой оболочки. В то же время совмещение таких двух операций, как разнонаправленная скрутка главных пучков и однонаправленная скрутка многопарных сердечников, представляется нецелесообразным из-за громоздкости комбинированной машины, которая бы понадобилась для этой цели, и из-за многообразия вариантов конструкций кабелей, содержащих от трех-четырёх пучков до полутора-двух десятков пучков.

Кратности шага скрутки элементарных пучков  $m = 40 \div 50$ , а главных пучков  $m = 30 \div 40$ . Кратность шага скрутки внешнего повива сердечников  $m = 20 \div 25$ .

## *Глава десятая*

# **ПРОЦЕССЫ СУШКИ И ПРОПИТКИ КАБЕЛЕЙ**

## **10.1. СУШКА И ПРОПИТКА БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ**

Для получения высоких электрических характеристик бумажная изоляция силовых кабелей подвергается сушке и пропитке маслами или специальными пропиточными составами. Электрические свойства изоляции тем лучше, чем меньше количество влаги остается в изоляции после сушки.

В исходном состоянии бумажная изоляция кабеля при относительной влажности окружающего воздуха 70—80% содержит 6—8% влаги. При этом, если классифицировать влагу по характеру связи с бумажной изоляцией, можно выделить следующие виды влаги: химически связанная влага, т. е. влага, входящая в состав

молекулы целлюлозы в виде гидроксильных групп; адсорбционная влага — влага, находящаяся на поверхности бумажных лент, а также на стенках капиллярных сосудов в виде мономолекулярного слоя; капиллярная влага — влага, заполняющая микро- и макрокапилляры пористой бумажной изоляции и механически связанная влага.

Наибольшей энергией связи обладает химическая влага, удаление ее связано с процессом деструкции молекул целлюлозы, и поэтому режимы сушки должны быть выбраны так, чтобы не допустить удаления хими-



Рис. 10.1. Распределение температуры и влажности по толщине изоляции кабеля при сушке.

$T_1$ ,  $T_2$  — температурные кривые в начале и конце первой стадии сушки;  $w_1$ ,  $w_2$  — распределение влажности в изоляции в начале и конце первой стадии сушки.

чески связанной влаги. Все остальные виды влаги в процессе сушки желательно удалить. Чем выше напряжение, на которое рассчитан кабель, тем меньше должно быть остаточное содержание влаги в изоляции. В изоляции кабелей высокого напряжения после сушки желательно иметь не более 0,05—0,07% влаги.

Сушка изоляции кабеля производится при температуре 100—135 °С в вакууме с остаточным давлением 6,5—400 Па. В начальной стадии сушки, когда содержание влаги изоляции велико, удаление влаги из кабеля происходит за счет явления диффузии влаги, термодиффузии и термовлагопроводности. Диффузия влаги — движение влаги под действием градиента влажности, который создается в изоляции на первой стадии сушки. Действительно, под действием высокой температуры и при наличии вакуума вокруг изоляции происходит интенсивное испарение влаги с поверхности кабеля, поэтому влажность наружных слоев становится значительно меньше, чем влажность слоев изоляции, расположенных у жилы (рис. 10.1).

Термодиффузия характеризуется молекулярным переносом влаги в изоляции под действием потока тепла в более холодную часть изоляции. Для интенсификации этого процесса необходимо создать в изоляции градиент температуры. Этот градиент получается при нагревании кабеля постоянным током в жиле. Одновременно обогриваются и наружные слои изоляции, однако их нагрев отстает от нагрева жилы, что и позволяет получить градиент температуры по толщине изоляции кабеля (рис. 10.1). Перенос влаги при термовлагопроводности обусловлен движением жидкости, заполняющей капилляры, в сторону менее нагретых слоев за счет разности поверхностных натяжений менисков водяных включений.

В процессе сушки происходит постепенный нагрев кабеля, а также уменьшение и перераспределение влаги в изоляции. При этом скорость сушки замедляется. Это объясняется тем, что постепенно изменяется градиент влажности (рис. 10.1), что связано с уменьшением испарения влаги с поверхности (с уменьшением влажности уменьшается парциальное давление воды на поверхности изоляции, следовательно, уменьшается количество испаряемой жидкости). Кроме того, при увеличении температуры и уменьшении влажности изоляции замедляется и практически прекращается явление термовлагопроводности. После проведения этого этапа сушки влагосодержание изоляции снижается до 1%, т. е. удаляется основное количество влаги из изоляции (механически связанная влага и влага макрокапилляров).

Более низкое содержание влаги, необходимое для изоляции кабелей высокого напряжения, можно получить, применив глубокую степень разряженности окружающей среды (высоковакуумная сушка). Остаточное давление среды вокруг кабеля должно составлять 0,1—0,01 Па. Эта фаза сушки может продолжаться значительное время. Здесь происходит удаление влаги из микрокапилляров и адсорбционно связанной влаги. В конце высоковакуумной сушки возможно даже некоторое газоотделение за счет частичного разложения целлюлозы.

Определенный эффект может дать высокочастотная сушка, которая применяется для кабелей высокого напряжения и проводится перед высоковакуумной сушкой. При подключении кабеля к генератору напряжения частотой 600—800 кГц происходит интенсивный нагрев изоляции за счет диэлектрических потерь, причем так как



влажность менее нагретых наружных слоев к моменту высокочастотного нагрева выше, чем влажность слоев, расположенных у жилы, то снаружи выделяется большее количество энергии. При этом изоляция кабеля равномерно прогревается до 115—120 °С.

Перенос влаги, несмотря на изотермическое поле внутри изоляции, происходит в этот момент очень интенсивно, так как он обусловлен разностью избыточных давлений водяного пара внутри изоляции. Однако при введении высокочастотного нагрева появляется возможность возникновения тлеющих разрядов в изоляции кабеля, что может ухудшить качество изоляции.

Пропитка силовых кабелей напряжением до 35 кВ включительно производится вязкими маслоканифольными составами. Изоляция кабелей напряжением 110 кВ и выше пропитывается минеральными маслами малой либо средней вязкости. При температуре пропитки 105—120 °С, однако, все эти составы обладают малой вязкостью, что делает возможным полную пропитку бумажной изоляции.

Процесс пропитки кабеля можно условно разделить на два этапа: первый этап — пропитка бумажной изоляции, второй этап — заполнение пустот в жиле, причем второй этап не менее важен, чем первый, так как наличие воздушных включений в жиле так же нежелательно, как и в изоляции. В процессе эксплуатации кабеля под воздействием циклических токовых нагрузок воздушные включения, находящиеся в жиле, могут перемещаться внутрь изоляции, при этом электрическая прочность кабеля уменьшается.

На первом этапе пропитки проникновение массы в изоляцию происходит за счет давления  $p$ :

$$p = p_1 - p_2 + p_3, \quad (10.1)$$

где  $p_1$  — давление над зеркалом пропиточного состава;  $p_2$  — противодавление, оказываемое воздушными включениями, находящимися внутри кабеля;  $p_3$  — давление, эквивалентное силам адсорбции.

Если пропитка происходит под действием атмосферного давления или при некотором избыточном давлении пропиточного состава, то давление  $p_3$  намного меньше  $p_1$ . Давление  $p_2$  увеличивается в процессе заполнения пор бумажной изоляции. Если в начале процесса  $p_2$  определяется степенью разреженности прост-

ранства при вакуумной сушке, то в конце первого этапа эту величину можно рассчитывать, пользуясь законом Бойля — Мариотта, так как процесс пропитки происходит при постоянной температуре:

$$\frac{p_{2н}}{p_{2к}} = \frac{v_k}{v_n}, \quad (10.2)$$

где  $p_{2н}$  и  $p_{2к}$  — давление воздушных включений кабельной изоляции в начале и конце первого этапа пропитки;  $v_n$  и  $v_k$  — объем воздушных включений в кабеле в начале и конце первого этапа пропитки.

Если положить, что

$$\left. \begin{aligned} v_n &= (1 - \eta) \pi r_0^2 + m \pi (R^2 - r_0^2); \\ v_k &= (1 - \eta) \pi r_0^2, \end{aligned} \right\} \quad (10.3)$$

где  $\eta$  — коэффициент заполнения жилы;  $m$  — пористость бумажной изоляции (для изоляции силовых кабелей  $m \approx 0,5$ ), т. е. отношение объема воздуха к объему целлюлозы;  $r_0$  и  $R$  — радиусы кабеля по жиле и по изоляции, то

$$p_{2к} = p_{2н} \left\{ 1 + \frac{m}{1 - \eta} \left[ \left( \frac{R}{r_0} \right)^2 - 1 \right] \right\}. \quad (10.4)$$

Выражение в фигурных скобках в формуле (10.4) зависит только от конструкции и геометрических размеров кабеля, поэтому порядок этой величины может быть оценен для каждой конкретной конструкции. Для кабелей 35 кВ значение этого выражения колеблется от 10 до 30. Однако если учесть, что  $p_{2н}$  составляет около 130—260 Па, то  $p_{2к} \approx 1300 \div 4200$  Па, что составляет 2—4% атмосферного и, следовательно, на первом этапе пропитки изменением этой величины можно пренебречь.

Таким образом, на первом этапе скорость пропитки определяется практически только давлением над зеркалом пропиточного состава при прочих равных условиях. Из уравнения Дарси для определения скорости пропитки

$$S = -k \operatorname{grad} p, \quad (10.5)$$

где  $S$  — скорость проникновения пропиточного состава в изоляцию на единице длины кабеля;  $k$  — коэффициент фильтрации;  $p$  — давление пропиточного состава, можно получить выражение для времени, необходимого для

полного заполнения пустот в изоляции, т. е. времени первого этапа пропитки:

$$t = \frac{mr^2_0 \left[ \frac{1}{2} \left( \left( \frac{R}{r_0} \right)^2 - 1 \right) - \ln \frac{R}{r_0} \right]}{2kp_1}. \quad (10.6)$$

На втором этапе пропитки заполнение пустот в жиле происходит под действием давления

$$p = p_1 - p_2. \quad (10.7)$$

В этом случае изменение  $p_2$  в процессе пропитки существенно и его нельзя не учитывать. Время заполнения пустот в жиле можно определить также, воспользовавшись уравнением (10.5), однако при этом необходимо учесть изменение  $p_2$ , используя зависимость (10.2), причем в выражение (10.2) следует ввести поправку, учитывающую частичное растворение воздуха в пропиточном составе при пропитке, что несколько снижает  $p_2$ . Тогда время окончания пропитки на втором этапе можно рассчитать по более сложной формуле:

$$t = \frac{\ln \frac{R}{r_0}}{2\pi k} \frac{v_{\kappa}}{p_1} \left[ 1 - \frac{\beta p_{2н}}{(1-\alpha)p_1} \ln \left( 1 - \frac{p_1(1-\alpha)}{p_1 - \beta p_{2н}} \right) \right], \quad (10.8)$$

где  $\alpha$  — коэффициент растворимости воздуха в пропиточном составе;

$$\beta = 1 + \frac{m}{1-\eta} \left( \left( \frac{R}{r_0} \right)^2 - 1 \right).$$

Анализируя (10.6) и (10.8), можно сделать следующие выводы.

Время пропитки существенно уменьшается, если увеличивать давление  $p_1$ .

Из анализа (10.8) видно, что время  $t$  может существенно возрасти при больших отрицательных значениях выражения

$$\ln \left( 1 - \frac{p_1(1-\alpha)}{p_1 - \beta p_{2н}} \right).$$

Последнее возможно, если

$$\left( 1 - \frac{p_1(1-\alpha)}{p_1 - \beta p_{2н}} \right) \rightarrow 0.$$

Отсюда можно получить начальное давление воздушных включений или, что то же самое, максимальное ос-

таточное давление окружающей кабель среды при его сушке.

Действительно, из условия  $\frac{p_1(1-\alpha)}{p_1-\beta p_{2н}} < 1$  вытекает, что полная пропитка возможна лишь при

$$p_{2н} < \frac{\alpha}{\beta} p_1. \quad (10.9)$$

Таким образом, если  $p_{2н} \geq \alpha p_1 / \beta$ , то  $t \rightarrow \infty$ , а это означает, что при выбранных режимах полной пропитки кабеля не произойдет. Соотношение (10.9) позволяет выбрать давление в кабеле при сушке, которое обеспечивает полную пропитку кабеля. Для кабеля 35 кВ  $p_{2н} \leq 0,01 p_1$ , что при  $p_1 = 0,1$  МПа составляет 0,001 МПа.

## 10.2. СУШИЛЬНО-ПРОПИТОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ, УСТРОЙСТВО

Принципиальные схемы сушки и пропитки изоляции силовых кабелей представлены на рис. 10.2—10.4. Все применяемое оборудование в этих схемах можно разделить на следующие основные группы: сушильно-пропиточные котлы; вакуумные системы, обеспечивающие нужное разрежение среды в сушильно-пропиточных котлах, емкостях для хранения пропиточного состава, а также в дегазационных устройствах; оборудование для подготовки пропиточного состава (дегазационные колонки, фильтры); теплообменники для пропиточного состава; насосы для перекачки пропиточного состава; система дистанционного управления и автоматического контроля за режимами сушки и пропитки.

Если пропитка кабеля производится маслоканифольными составами, то кроме перечисленного оборудования необходимо также оборудование для варки пропиточных составов (варочный котел, котел-дегазатор и т. д.).

Сушильно-пропиточные котлы вертикального типа для кабелей на напряжение до 35 кВ (рис. 10.5) имеют диаметр 3—4 м, высота котлов около 2,5 м, что позволяет размещать внутри две-три корзины с кабелем. Котлы имеют паровой обогрев.

Давление пара в паровой рубашке котла составляет 0,3—0,4 МПа. В верхней части котел имеет ввод вакуум-провода, в нижней — патрубок для ввода пропиточ-

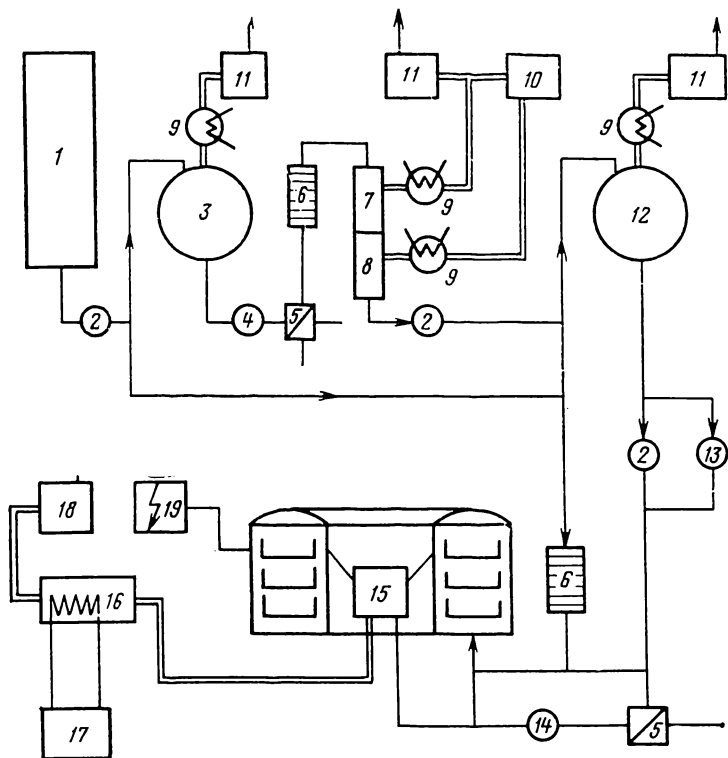


Рис. 10.2. Схема установки для сушки и пропитки кабелей на напряжении до 35 кВ.

1 — котел для подготовки массы; 2 — насос для перекачки массы; 3 — резервуар для хранения необработанной массы; 4 — дозирующий насос; 5 — теплообменник; 6 — фильтр; 7, 8 — дегазатор (I и II ступеней); 9 — маслоотделитель; 10 — глубоковакуумная установка; 11 — вакуумная установка; 12 — резервуар для хранения готовой массы; 13 — насос для подачи массы под давлением; 14 — насос для перекачки отработанной массы; 15 — котел для сушки и пропитки кабелей; 16 — устройство для охлаждения откачиваемого газа (конденсационная колонка); 17 — подача холодной воды в конденсационную колонку; 18 — вакуумная насосная установка; 19 — электрический обогрев.

ного состава. Кроме того, в стенке котла имеется электрический ввод для подключения к жилам кабеля постоянного напряжения, а также несколько измерительных вводов для проводов термопар или терморезисторов. В паровой рубашке котла предусматриваются патрубки для ввода пара под давлением (сверху) и для вывода конденсата (снизу). Сверху котел закрывается крышкой со смотровым окном. Конструкция уплотняю-

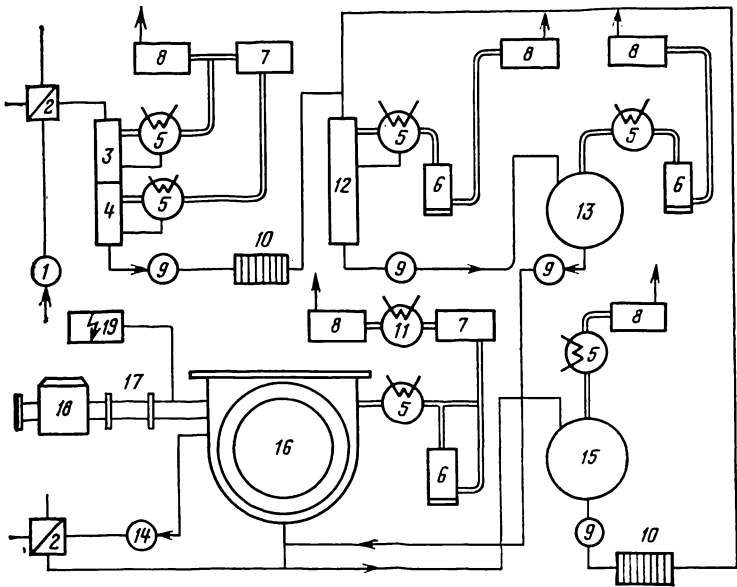


Рис. 10.3. Схема установки для сушки и пропитки высоковольтных кабелей (110—500 кВ).

1 — дозирующий насос; 2 — теплообменник; 3, 4 — дегазатор (I и II ступеней); 5 — маслоотделитель; 6 — диффузионный насос; 7 — высоковакуумная насосная установка; 8 — вакуумная насосная установка; 9 — насос для перекачки масла; 10 — фильтр; 11 — конденсатор; 12 — дегазатор (3-я ступень); 13 — резервуар для готового масла; 14 — насос для перекачки отработанного масла; 15 — промежуточный резервуар; 16 — котел для сушки и пропитки; 17 — шлюз; 18 — пресс для наложения металлической оболочки; 19 — электрический обorerв.

шего устройства должна обеспечивать создание остаточного давления в котле 260—1300 Па, а также пропитку под избыточным давлением 0,15 МПа. В современных котлах уплотнение крышки производится с помощью прокладки из кремнийорганической резины и байонетного затвора. Байонетный затвор позволяет создать необходимое давление на прокладку за счет поворота крышки на некоторый угол вокруг вертикальной оси котла.

Для проведения сушки и пропитки кабелей напряжением до 35 кВ включительно кабели укладываются в корзины, которые затем устанавливаются в котлах. После пропитки и охлаждения корзины с пропитанным кабелем вместе с пропиточным составом извлекаются из котлов и устанавливаются на отдающее устройство

для наложения металлической оболочки. При такой организации технологического процесса есть возможность попадания воздушных включений в изоляцию кабеля при наложении оболочки. Поэтому современные сушильно-пропиточные установки, предназначенные для изготовления кабелей на 110 кВ и выше, исключают возможность непосредственного воздействия на изоляцию кабеля окружающей среды.

Для сушки и пропитки таких кабелей применяются котлы прямоугольной формы значительно больших размеров (рис. 10.6), которые позволяют размещать внутри на барабане одну или две строительные длины кабеля. Котел также имеет паровой обогрев, электрические выводы для подключения кабеля к источнику постоянного напряжения 50—500 В при токе 500 А (а при необходимости также к высокочастотному генератору) и для проводов термопар или терморезисторов, патрубки для подключения к вакуум-проводу и к системе подачи пропиточного масла. Система герметизации котла позволяет поддерживать внутри остаточное давление порядка 1,0—0,1 Па, а также производить пропитку кабелей под давлением 0,15 МПа. Охлаждение кабеля после

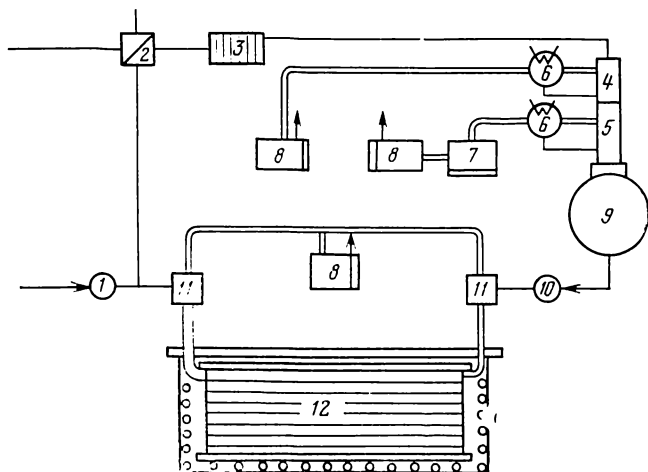


Рис. 10.4. Схема установки для сушки и пропитки кабелей высокого напряжения после наложения металлической оболочки.

1 — дозирующий насос; 2 — теплообменник; 3 — фильтр; 4 и 5 — дегазатор (I и II ступеней); 6 — маслоотделитель; 7 — диффузионный насос; 8 — вакуумная насосная установка; 9 — резервуар для хранения готового масла; 10 — насос для нагнетания масла; 11 — концевые соединения; 12 — предварительно высушенный в сушильной камере кабель в металлической оболочке.

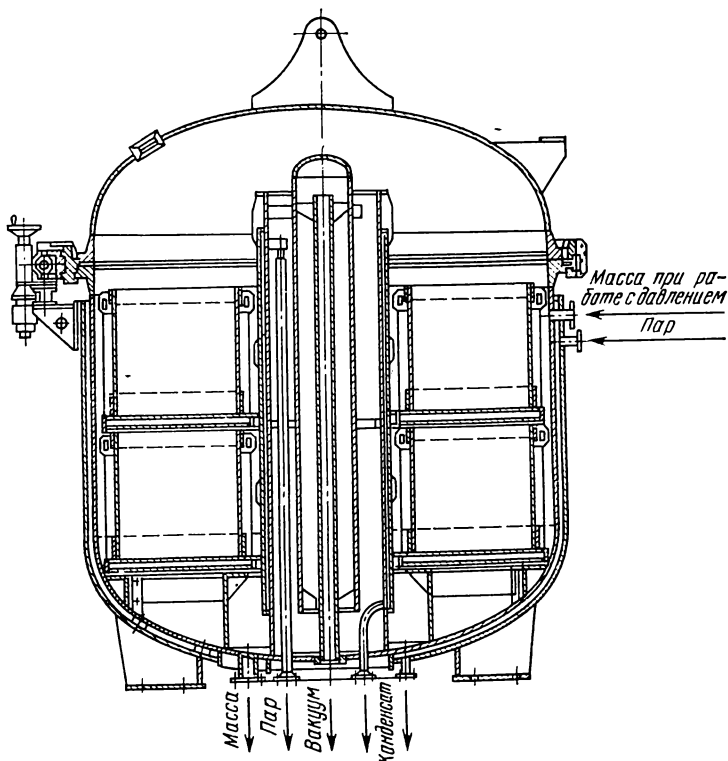
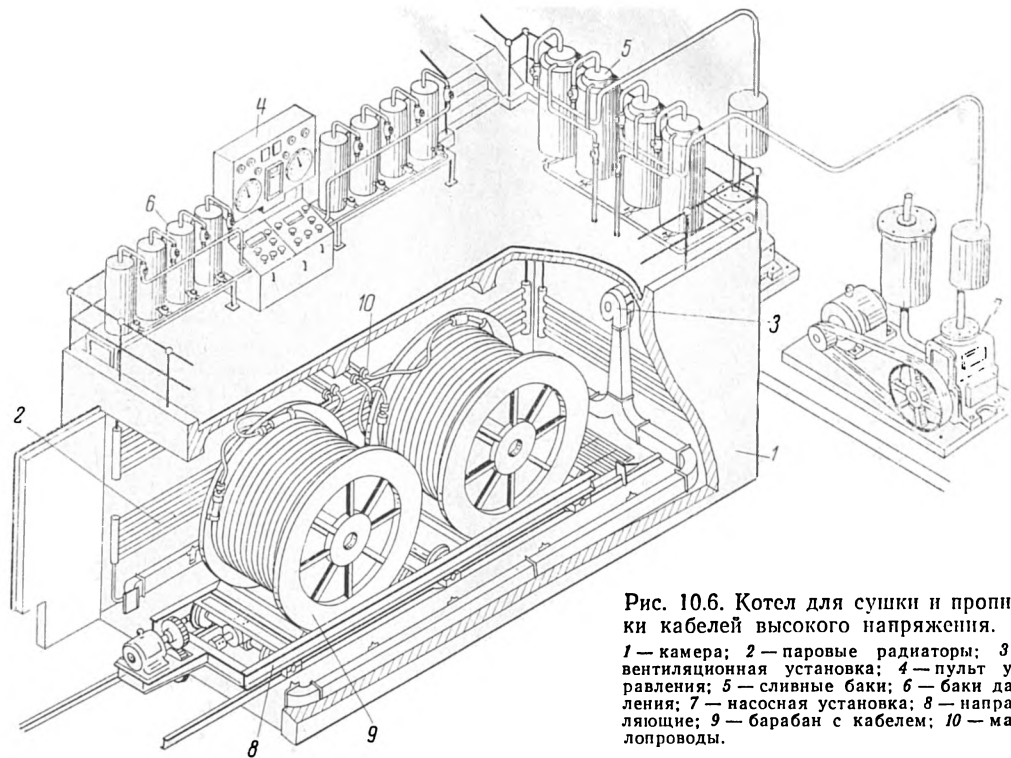


Рис. 10.5. Вакуумный сушильно-пропиточный котел.

пропитки должно производиться в котле, и для ускорения этого процесса в конструкции котла предусматривается возможность принудительной замкнутой циркуляции пропиточного масла под давлением с его охлаждением в теплообменнике. После охлаждения кабель подается на пресс для наложения металлической оболочки непосредственно из котла через специальное шлюзовое устройство. Это устройство имеет герметичное соединение с котлом и с головкой пресса. Перед началом опрессования устройство вакуумируется и может заполняться пропиточным маслом, что обеспечивает сохранение высоких свойств изоляции.

Свойства пропитанной изоляции во многом определяются, как уже отмечалось, степенью разрежения при сушке. Поэтому очень важен выбор соответствующих





**Рис. 10.6.** Котел для сушки и пропитки кабелей высокого напряжения.

1 — камера; 2 — паровые радиаторы; 3 — вентиляционная установка; 4 — пульт управления; 5 — сливные баки; 6 — баки давления; 7 — насосная установка; 8 — направляющие; 9 — барабан с кабелем; 10 — маслопроводы.

вакуумных установок. Особенностью работы вакуумных установок является требование откачки больших объемов воздуха, содержащих пары воды или масла. Поэтому в системы вакуумных установок, как правило, включаются вакуумные насосы, конденсационные колонки и маслоотделители.

Вакуумные насосы, применяемые для сушки и пропитки кабелей до 35 кВ, в основном являются насосами механическими, т. е. действие их основано на механическом сжатии и выталкивании откачиваемого газа. В указанных схемах применяются насосы двух типов — поршневые (типа ДВНП-6) и плунжерные (типа ВН-6Г). Поршневые насосы типа ДВНП-6 — это двухступенчатые насосы, причем одна ступень используется для создания разрежения в зоне выброса газа основной ступенью. Это позволяет получить в откачиваемом объеме более высокий вакуум. Наибольшей скоростью откачки обладают плунжерные насосы (около 120 л/с). С помощью этих насосов можно получить, кроме того, более низкое остаточное давление в откачиваемом объеме — 130,0—200 Па. Плунжерные насосы относятся к вращательным насосам с масляным уплотнением (рис. 10.7).

В процессе работы эксцентричный ротор со специальным плунжерным устройством увеличивает или уменьшает объем рабочей камеры. В момент наименьшего объема рабочая камера соединяется с впускным патрубком насоса. При последующем увеличении объема рабочей камеры в нее засасывается откачиваемый газ до тех пор, пока объем ее достигнет максимума. В этот момент камера отсоединяется от впускного патрубка. Затем объем рабочей камеры начинает уменьшаться. При этом происходит сжатие газа до атмосферного давления и выталкивание его через выпускной клапан. При низком остаточном давлении в откачиваемом объеме необходима дополнительная герметизация деталей насоса, чтобы препятствовать перетеканию газа со стороны высокого давления на сторону впуска. Это достигается наличием масляной пленки. Для этого в насос заливается определенное количество вакуумного масла марок ВМ-4, ВМ-6.

Следует иметь в виду, что обычно вращающиеся насосы с масляным уплотнением не пригодны для откачки парогазовых смесей, так как при сжатии (коэффициент сжатия в таких насосах достигает 700) происходит

конденсация пара внутри рабочей камеры, образуется водно-масляная эмульсия, которая стекает в сторону впускного клапана и, испаряясь, вновь попадает в откачиваемый объем.

Для откачки парогазовых смесей более пригодны насосы, снабженные специальным газобалластным устройством. Это устройство впускает в рабочую камеру в момент сжатия сухой воздух. Количество воздуха подбирается таким образом, чтобы давление в рабочей ка-

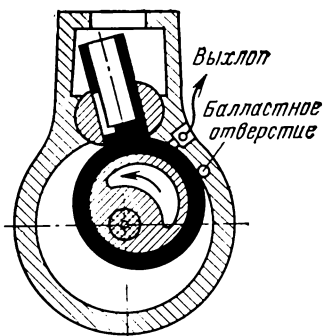


Рис. 10.7. Схема плунжерного вакуумного насоса.

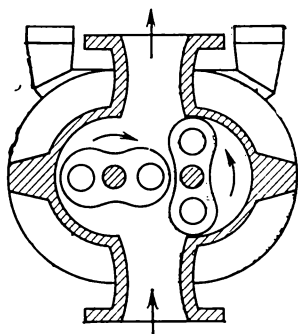


Рис. 10.8. Схема двухроторного вакуумного насоса.

мере было достаточным для открывания выпускного клапана, но при этом оно меньше, чем давление насыщения паров. Насос типа ВН-6Г является плунжерным насосом с газобалластным устройством.

Для сушки и пропитки кабелей сверхвысокого напряжения для обеспечения остаточного давления порядка  $0,1-0,01$  Па необходимо применять специальные вакуумные агрегаты, состоящие из двухроторных насосов типа 2ДВН-1500 и последовательно соединенных с ними насосов плунжерного типа ВН-6Г. Двухроторные насосы (рис. 10.8) применяются в основном для откачки больших объемов до давлений  $0,1-0,01$  Па. Основной частью этих насосов являются роторы специальной конфигурации, вращающиеся в противоположные стороны с большими скоростями. Этим достигается необходимое быстроедействие насосов ( $1500$  л/с). Однако сравнитель-

но большие зазоры между роторами и небольшой коэффициент компрессии позволяют применять эти насосы только при последовательном соединении с механическими масляными насосами.

Для устойчивой работы вакуумных насосов при откачке паров, содержащих большое количество влаги (особенно в первые часы сушки кабелей), между насосом и сушильно-пропиточным котлом устанавливается конденсационная колонка, где происходят охлаждение воздуха и частичная конденсация водяных паров за счет соприкосновения с поверхностью вертикальных трубок, внутри которых протекает холодная вода. При вакуумировании пространства над поверхностью масла

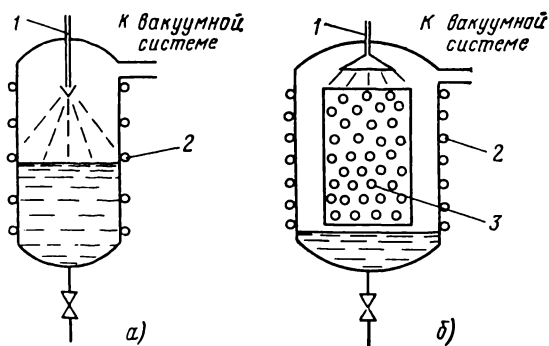


Рис. 10.9. Способы дегазации масла.

*а* — дегазация в каплях; *б* — дегазация в пленках; 1 — форсунка; 2 — змеевик для обогрева колонки паром; 3 — алюминиевые кольца.

или пропиточного состава необходимо между откачиваемым объемом и вакуумным насосом размещать маслоотделитель для уменьшения количества масляных паров, попадающих в насос. Конденсация масляных паров в маслоотделителе осуществляется за счет соприкосновения с холодными поверхностями.

Наиболее простыми дегазационными устройствами являются котлы-дегазаторы, в которых поддерживается температура 125°C и остаточное давление 1,5—2,5 кПа. Эти котлы предназначены для дегазации маслосиликоновых составов методом замкнутой циркуляции в течение 8—12 ч. Объем дегазационного состава примерно  $\frac{2}{3}$  объема котла-дегазатора.

При изготовлении кабелей сверхвысокого напряжения применяются более эффективные способы дегазации за счет увеличения поверхности дегазируемых масел. Известны два способа эффективной дегазации — в каплях и в пленках (рис. 10.9). В первом случае масло разбрызгивается в дегазирующем устройстве, где поддерживается температура 60—80°C и остаточное давление 130—70 Па. Чем меньше размер капель, тем больше общая поверхность разбрызгиваемого масла. Масло несколько раз должно проходить через дегазирующее устройство, при этом происходят его сушка и удаление растворенного в масле воздуха. Однако более качественная дегазация масла достигается при проведении процесса в пленке. Дело в том, что с уменьшением размера капли увеличивается поверхностное натяжение поверхности капли, что затрудняет выход паров воды и газов.

При дегазации в пленках масло растекается по поверхности каких-либо твердых предметов (например, набор тонких колец). Для улучшения качества масла часто применяется двухступенчатое дегазационное устройство. Остаточное давление в 1-й ступени около 130 Па, во 2-й — около 6,5 Па.

Теплообменники, используемые в сушильно-пропиточных установках, должны иметь как охлаждающую систему, так и систему обогрева. В режиме охлаждения теплообменники должны обеспечивать охлаждение пропиточного состава, находящегося в котле, с температуры 135 до 45°C за 5 ч под избыточным давлением состава 0,15 МПа.

Система дистанционного управления и автоматического контроля за режимами сушки и пропитки содержит комплект измерительных приборов (вакуумметры, манометры, датчики температуры, потенциометры, приборы для контроля уровня масла и т. д.), вентили с дистанционным управлением, схемы автоматического пуска и отключения всех элементов сушильно-пропиточной установки.

### **10.3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ**

Пропитка силовых кабелей на напряжение 1—35 кВ производится маслослуканифольными составами МП-1, МП-3 (кабели на напряжения 1—10 кВ включительно), МП-2, МП-4 и МП-5 (кабели на напряжения 1—35 кВ), причем состав МП-5 предназначен для

кабелей, прокладываемых на вертикальных и крутонаклонных трассах.

Для изготовления этих составов должно использоваться кабельное масло марки КМ-25 либо смесь нефтяных масел П-28 и МС-20. В качестве загустителя используется канифоль в количестве 22—26% для составов МП-1 и МП-2 и 5% для остальных составов; кроме того, для составов МП-3 и МП-5 используется полиэтиленовый воск в количестве 3,2 и 20% соответственно, а для состава МП-4 — композиция на основе полиизобутилена в количестве 20%.

Изготовление пропиточных составов должно производиться следующим образом. Масло КМ-25 подается в вакуумный варочный котел, предварительно нагретый до 60°C, и нагревается там до 125°C со скоростью, не допускающей пенообразования. В этот же котел подается измельченная канифоль, полиэтиленовый воск или композиция на основе полиизобутилена (в зависимости от марки состава) и перемешивается с маслом до полного растворения и прекращения пенообразования. Далее состав выдерживается в котле при непрерывном перемешивании в течение не менее 10 ч при остаточном давлении  $5,2 \cdot 10^3$  Па и  $125 \pm 10^\circ\text{C}$ .

Твердые компоненты для ускорения процесса варки могут предварительно растворяться в небольшом количестве масла КМ-25 в отдельных вакуумных варочных котлах, а затем подаваться в основной котел. В этом случае процесс варки сокращается до 6 ч. Изготовленные составы перед пропиткой кабелей должны фильтроваться и дегазироваться. Дегазация производится либо способом круговой циркуляции через котел-дегазатор при 125°C и остаточном давлении в котле  $(1,5—2,5) \cdot 10^3$  Па до полного исчезновения пены, что соответствует примерно 8—12 ч, либо путем пропускания пропиточного состава через дегазирующее устройство одноступенчатого или двухступенчатого типа (рис. 10.2, поз. 7 и 8).

Контроль качества пропиточных составов осуществляется путем определения их вязкости при 130°C, а также электрических характеристик при 100°C.

Пропитка кабелей на напряжение 110 кВ и выше производится кабельными маслами С-220 или МН-3, МН-4, которые поступают на кабельные заводы в готовом виде. Предварительная подготовка пропиточных составов в этом случае заключается в их очистке от влаги, химических и механических загрязнений (фильтрация, дегазация). Очистка масел может производиться также с помощью адсорбционных земель. В этом случае процесс очистки значительно усложняется. Сначала производится предварительная сушка с помощью перекачки масла через котел, нагретый до 85°C и отвакуумированный до остаточного давления  $6,5 \cdot 10^3$  Па. Длительность сушки составляет 3—6 ч, после чего в этот же котел загружается отбеливающая глина. Количество глины зависит от исходных характеристик масла ( $\text{tg } \delta$ ). Глина предварительно подсушивается до влажности 1—2%. После загрузки глины производят перемешивание масла с помощью насоса, а затем смесь перекачивается в котел-отстойник, где смесь находится при 85—65°C и  $6,5 \cdot 10^3$  Па в течение нескольких суток. Фильтрация масла производится с помощью фильтров (несколько слоев картона). После фильтрации масло хранится в резервуарах под вакуумом (остаточное давление не более  $6,5 \cdot 10^3$  Па), откуда в дальнейшем поступает в дегазационные устройства. Адсорбционная очистка масла может не про-

изводится, если  $\operatorname{tg} \delta$  масла при  $100^{\circ}\text{C}$  и напряженности электрического поля  $1 \text{ МВ/м}$  составляет не более  $0,002$ . В этом случае очистка масла производится путем пропускания его через фильтры с последующей дегазацией.

#### **10.4. СУШКА И ПРОПИТКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЯ 1—35 кВ**

Схема установки для сушки и пропитки кабелей на  $35 \text{ кВ}$  представлена на рис. 10.2. Перед сушкой изолированные жилы кабеля укладываются в сушильно-пропиточной корзине рядовым способом. Между витками изоляции закладываются термоэлектрические преобразователи. Жилы кабелей соединяются последовательно или параллельно и подключаются к токовому вводу вакуумного котла гибким проводом. После установки корзины в вакуумном котле  $15$  последний закрывается крышкой и начинается процесс сушки и пропитки.

Нагрев кабеля производится постоянным током в жиле при плотности  $1,5\text{—}2 \text{ А/мм}^2$ , а также от стенок котла, для чего через паровую рубашку вакуумного котла пропускается пар под давлением около  $0,45 \text{ МПа}$ . Нагрев продолжается до достижения кабелем температуры  $120\text{—}130^{\circ}\text{C}$ , после чего токовый обогрев прекращается. Сушка кабелей производится при остаточном давлении в котле  $3 \cdot 10^2\text{—}4,5 \cdot 10^3 \text{ Па}$  в зависимости от напряжения, на которое рассчитан кабель. В процессе сушки происходит некоторое снижение температуры кабеля. Если температура становится меньше  $120^{\circ}\text{C}$ , то производится дополнительный подогрев кабелей током плотностью около  $70\%$  первоначальной. После окончания процесса сушки в сушильно-пропиточный котел подается пропиточный состав, подогретый до  $125 \pm 10^{\circ}\text{C}$ . При этом продолжается вакуумирование котла. Время впуска состава выбирается таким образом, чтобы предотвратить процесс пенообразования. В процессе пропитки в случае необходимости также следует проводить подогрев кабеля до  $125^{\circ}\text{C}$  током плотностью  $70\%$  первоначальной. Пропитку изоляции обычно производят под избыточным давлением, что значительно уменьшает время пропитки.

После пропитки кабеля необходимо охладить до  $50\text{—}55^{\circ}\text{C}$ . Лучше всего процесс охлаждения проводить в котле за счет замкнутой циркуляции пропиточного

состава через теплообменник 5. Если такая циркуляция не предусмотрена в схеме сушильно-пропиточной установки, то корзины с кабелем и пропиточным составом охлаждаются в цехе на открытом воздухе. В последнем случае время охлаждения может достигать 80 ч и более. Режимы сушки и пропитки кабелей на напряжения 1—35 кВ приводятся в табл. 10.1.

Таблица 10.1

**Режимы сушки и пропитки кабелей на напряжения 1—35 кВ**

Наименование технологического режима	Продолжительность, ч, не менее при рабочем напряжении кабеля, кВ				
	1—3	6	10	20	35
Нагрев током и паром до температуры 120—130°C	До достижения температуры				
Сушка при остаточном давлении:					
4,5 · 10 <sup>3</sup> Па	1				
3,0 · 10 <sup>3</sup> Па	—	3			
1,5 · 10 <sup>3</sup> Па	—	—	4		
3,0 · 10 <sup>2</sup> Па	—	—	—	21	30
Впуск состава и пропитка под вакуумом	1	2	4	2	2,5
Пропитка под давлением:					
10 <sup>5</sup> Па	1	2	2	10	12
1,5 · 10 <sup>5</sup> Па	—	—	—	5	6

Отработанный состав может быть повторно использован для пропитки кабелей, если его характеристики соответствуют установленным требованиям. Для этого в схеме рис. 10.2 предусматривается резервуар 12. На схеме приводится также компоновка оборудования для подготовки пропиточного состава, включающая варку 1, фильтрацию 6 и дегазацию 7, 8. Вакуумная установка для создания вакуума в котле состоит из конденсационной колонки 16—18 и системы вакуумных насосов 19.

### 10.5. СУШКА И ПРОПИТКА МАСЛОПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110—500 кВ

В СССР выпускаются два типа кабелей сверхвысокого напряжения: маслонаполненные кабели низкого (тип МНСА и др.) и высокого (типа МВДТ) давления. Технология сушки и пропитки этих кабелей несколько различается, однако при изготовлении кабелей на заводах, оснащенных прогрессивным технологическим оборудованием, эти различия не столь существенны. При использовании су-



шильно-пропиточного оборудования, схема которого представлена на рис. 10.3, технологический процесс проводится следующим образом. Барабан с кабелем помещается в сушильно-пропиточный котел (аппарат) 16 и производится нагрев кабеля постоянным током по жиле и паром от стенок котла до 105—115°C. Плотность тока при нагреве составляет 1—1,5 А/мм<sup>2</sup>. Одновременно начинается вакуумирование котла с помощью высокопроизводительной вакуумной установки, например вакуум-насосным агрегатом «Вапортер М20» (производительность 20 000 м<sup>3</sup>/ч при давлении 15 Па). Последний состоит из механического газобалластного насоса и насоса двухроторного типа. Агрегат включает в себя также комбинированную конденсационную колонку глубокого охлаждения, в которой охлаждение конденсата, выделяющегося из котла, в зависимости от его температуры и давления производится либо за счет непосредственного впрыскивания холодной воды, либо пропусканьем фреона по змеевикам.

Для более глубокого вакуумирования котлов могут применяться также вакуумные установки, состоящие из трех последовательно работающих насосов в сочетании с конденсационными колонками и маслоотделителями. На рис. 10.3 изображена такая установка, состоящая из диффузионно-масляного насоса 6, который включается на последней стадии для получения высокого вакуума, двухроторного насоса 7 и механического газобалластного насоса 8, маслоотделителя 5 и конденсатора 11.

Вакуумная сушка кабелей при паровом обогреве котла должна производиться при 110—125°C. При снижении температуры кабеля до 105°C необходимо производить дополнительный его подогрев током плотностью около 0,5 А/мм<sup>2</sup>. Длительность вакуумной сушки проводится в табл. 10.2.

Таблица 10.2

### Режимы вакуумной сушки высоковольтных кабелей

Параметр	Напряжение кабеля, кВ			
	110	220	380	500
Остаточное давление, Па, не более	27	20	20,7	14,7
Длительность сушки, ч, не менее	24	36	60	72

Контроль за процессом сушки осуществляется путем измерения  $\text{tg } \delta$  и сопротивления изоляции кабеля, а также определением остаточного давления и часового натекания в котле с кабелем при отключении вакуум-насосов (увеличение давления в котле за 1 ч после отключения насосов). Последняя величина характеризует количество оставшейся в изоляции кабеля влаги. К моменту окончания сушки остаточное давление должно соответствовать значениям, приведенным в табл. 10.2, сопротивление изоляции и  $\text{tg } \delta$  должны оставаться постоянными, а часовое натекание при последних трех измерениях, производимых через 8 ч, должно иметь установившееся значение не более 130 Па.

После окончания процесса сушки изоляция кабеля может быть пропитана непосредственно в котле 16. Для этого в схеме преду-

смагтривается система подготовки пропиточного состава. Масло с помощью дозирующего насоса 1 пропускается через теплообменник 2, где оно подогревается до  $65 \pm 5^\circ\text{C}$  и поступает в дегазационные колонки 3, 4 и 12. Резервуар 13 служит для приема и хранения очищенного дегазационного масла. Из резервуара 13 масло с помощью насоса 9 подается в котел 16. Заполнение котла и пропитка изоляции должны производиться при  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ . Длительность заполнения котла и пропитки изоляции приведены в табл. 10.3.

Таблица 10.3

**Режим пропитки изоляции высоковольтных кабелей**

Параметр	Напряжение кабеля, кВ			
	110	220	380	500
Остаточное давление в котле при его заполнении маслом, Па	27	20	20	17
Время заполнения котла, ч, не менее	5	5	5	8
Длительность пропитки под вакуумом, ч, не менее	12	24	48	60
Длительность пропитки под давлением 110—120 кПа	12	24	48	60
Длительность охлаждения кабеля после пропитки до температуры $70^\circ\text{C}$ , ч, не менее	36	48	72	84
То же до $30^\circ\text{C}$ , ч, не менее	24	36	60	72

В схеме, приведенной на рис. 10.3, предусматривается принудительное охлаждение кабеля после пропитки путем циркуляции масла под давлением через теплообменник 2. Длительность процесса охлаждения не может быть меньше приведенной в табл. 10.3, так как при слишком быстром охлаждении из-за уменьшения объема пропиточного состава в изоляции кабеля могут образоваться пустоты.

После охлаждения через шлюзовое устройство 17, в котором поддерживается остаточное давление 15—65 Па, кабель подается в гидравлический или червячный пресс, где происходит наложение свинцовой или алюминиевой оболочки. Изоляцию кабеля перед началом процесса прессования достаточно охладить до температуры 80—100°C.

Отработанный пропиточный состав насосом 14 перекачивается в резервуар 15, откуда он после регенерации (фильтр 10, дегазационная колонка 12) вновь может быть направлен в сборник 13 и использован для пропитки кабелей. Недостатком описанного технологического режима является расход большого количества дорогого дегазированного масла при пропитке кабелей, необходимого для заполнения всего объема котла. Поэтому для уменьшения расхода пропиточного состава, а также уменьшения времени на подготовку пропиточных котлов к приему следующей строительной длины кабеля целесообразнее технологический процесс проводить следующим образом.

После окончания сушки изоляции кабель из котла 16 через шлюз 17 подается, например, в пресс для наложения свинцовой

оболочки. Пропитка изоляции производится после освинцевания кабеля в сушильно-пропиточной камере, схема которой приводится на рис. 10.4. Барабан с кабелем 12 размещается в камере и нагревается до 50—75°C. Затем концы кабеля подключаются к вакуумной установке 8 и производится вакуумирование изоляции. Кабели на напряжение 110—220 кВ перед пропиткой должны выдерживаться при остаточном давлении 40 Па не менее 12 ч, а кабели на напряжения 330—350 кВ при 14 Па не менее 72 ч. Заполнение кабеля маслом производится под избыточным давлением 0,15—0,3 МПа при помощи насоса 10 с одного конца, с другого конца кабель должен вакуумироваться до появления масла на выходе. Далее производится промывка кабеля маслом, при этом через кабель должно быть пропущено 100 л масла на каждые 100 м длины кабеля. После промывки  $\lg \delta$  масла, выходящего из кабеля, при 100°C и 1 МВ/м не должен превышать 0,01. После этого концы кабеля герметизируются и барабан с кабелем поступает на испытательную станцию.

Если завод не имеет соответствующего сушильно-пропиточного оборудования, то возможны отклонения от описанного технологического процесса. При этом кабели низкого давления, имеющие канал в жиле, сушатся в два этапа. Первая сушка производится в сушильно-пропиточных котлах диаметром до 4 м, аналогичных котлам для сушки и пропитки кабелей на напряжение 1—35 кВ. После первой сушки производится наложение металлической оболочки. Затем барабаны с кабелем помещаются в сушильно-пропиточную камеру, где производится вторая сушка изоляции, а затем ее пропитка через канал внутри жилы. Кабели высокого давления сушатся и пропитываются в тех же котлах, что и кабели низкого давления. Наложение временной свинцовой оболочки происходит после пропитки и охлаждения кабелей. При таком построении технологического процесса качество изоляции кабелей может снижаться, так как в процессе наложения металлической оболочки изоляция соприкасается с воздухом цеха.

## 10.6. СУШКА КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Изоляция кабелей связи, изготавливаемая из гигроскопических материалов (бумажная масса, бумажные лента и кордель), содержит 6—8% влаги. Поэтому сушка является обязательным технологическим процессом изготовления кабелей связи с волокнистой изоляцией. В тех случаях, когда изоляция изготовлена из негигроскопических пластических масс (полиэтиленовых шайб, полистирольного корделя и ленты), благодаря удалению влаги, адсорбированной на поверхности такой изоляции или содержащейся в поясной волокнистой, чаще всего бумажной, изоляции можно значительно улучшить ее электрические характеристики.

Большая часть основного и вспомогательного сушильного оборудования, применяемого при производстве кабелей связи, по своей конструкции практически не отличается от оборудования, применяемого для сушки силовых кабелей. Это относится к вакуум-котлам, насосам, конденсационным колонкам и другим устройствам. В то же время при сушке кабелей связи применяется и специальное оборудование. К нему в первую очередь относятся вакуум-котлы колокольного типа, представляю-

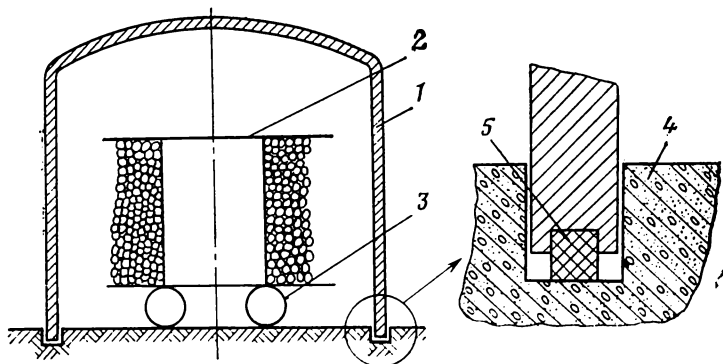


Рис. 10.10. Вакуум-котел колокольного типа.

щие собой массивные колпаки, которые могут быть опущены на основание или приподняты над ним, и камеры ожидания, в которых высушенный кабель хранится до наложения на него металлической оболочки.

Существуют два типа вакуум-котлов колокольного типа. Наиболее удобным является котел, купол которого опускается на основание, находящееся на одном уровне с полом (рис. 10.10). Этот котел предназначен для сушки кабеля на барабанах с вертикальной осью, размещенных на тележках. Для удобства перемещения котлы оборудованы направляющими рельсами, фиксирующими положение тележки 3 с барабаном 2. Купол 1 опускается на основание 4 по направляющим колоннам. Герметизация соединения купола с основанием обеспечивается резиновой прокладкой 5. Первоначальное прижатие купола к основанию осуществляется за счет собственного веса купола. Далее, по мере возрастания глубины вакуума в котле и увеличения разности давлений вне и внутри аппарата купол все более плотно прижи-

мается к основанию. На внутренней поверхности купола размещены нагревательные элементы, необходимые для нагрева купола и находящегося в нем кабеля. Однако основной нагрев кабеля производится теплом, выделяющимся при пропускании по его жилам постоянного электрического тока.

Другой вид котлов колокольного типа предназначен для сушки кабелей, намотанных на барабаны с горизонтальной осью, которые устанавливаются на сфери-

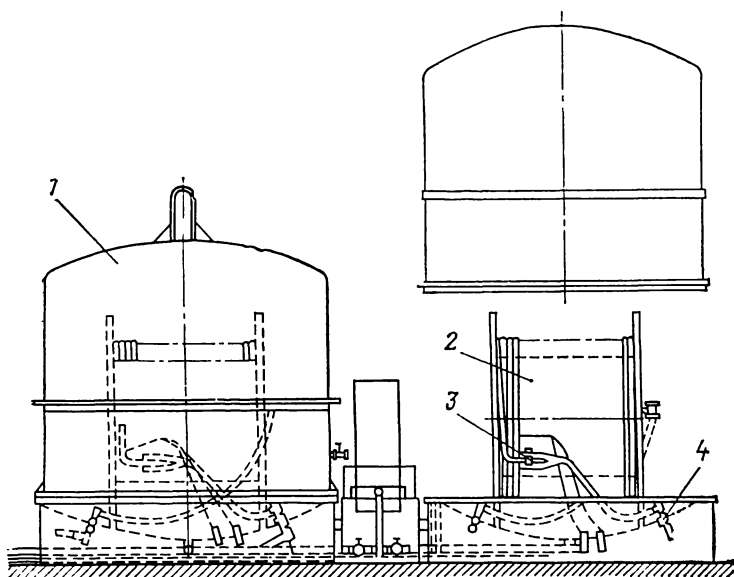


Рис. 10.11. Вакуум-котлы колокольного типа со сферическим днищем. 1 — купол; 2 — барабан с кабелем; 3 — зажим для подсоединения кабеля к токовым вводам; 4 — токовый ввод.

ческое днище-основание (рис. 10.11). Такие котлы не имеют направляющих колонн и поднимаются при помощи мостовых кранов или аналогичных грузоподъемных механизмов. Токовые вводы для нагрева кабеля, вакуумная линия и провода измерительных приборов проходят через отверстия в основании котла. Токовые вводы внутри котла заканчиваются патронеобразными зажимами, позволяющими быстро, легко и надежно подсоединять кабель. В некоторых установках для сушки кабелей связи зажимы снабжены водяным охлаждением

для отвода тепла, возникающего в месте контактного сопротивления (ввод-кабель).

Для предотвращения замыкания жил кабеля на корпус тележка с барабаном кабеля изолируется от земли. Управление механизмом подъема купола заблокировано с механизмом управления циклом нагрева таким образом, что при поднятом куполе на кабель не может быть подано напряжение. Панель управления располагается вблизи котла. На панели монтируется контрольная, регулирующая, сигнальная и регистрирующая аппаратура. Обычно каждые два котла колокольного типа снабжаются одним источником постоянного тока. Когда в одном из котлов сушится кабель, другой открыт и в нем производится подготовка к сушке следующего барабана.

Основные преимущества вакуум-котлов колокольного типа заключаются в возможности обеспечения индивидуального режима сушки каждой строительной длины кабеля, в простоте закрывания, обслуживания и подключения кабеля к токовым вводам, в большой маневренности такого типа оборудования, допускающей синхронизацию режима сушки с остальными операциями технологического цикла. Указанные преимущества вакуум-котлов колокольного типа не исключают возможности сушки кабелей связи в обычных вакуум-котлах (вертикальных или горизонтальных), снабженных паровым, масляным или электрическим обогревом. Такое оборудование продолжает применяться для сушки кабелей связи на ряде кабельных заводов.

Высушенные в вакуум-котлах кабели связи перед наложением влагозащитных оболочек хранятся либо в тех же котлах, либо в специальных камерах ожидания. Наличие таких камер позволяет своевременно освободить вакуум-котлы и вновь использовать их для проведения очередного режима сушки. Камера ожидания обычно располагается на участке между сушильным отделением и отделением по наложению влагозащитных оболочек и представляет собой закрытое помещение, в котором искусственно поддерживается повышенная температура (около  $+40^{\circ}$ ) и влажность воздуха не более 0,5%. Во избежание увлажнения кабеля камера обычно соединяется с агрегатами для наложения металлической оболочки трубопроводом. Когда кабели сушатся на барабанах с горизонтальной осью или в корзинах, камера ожидания оборудуется краном или каким-либо другим

подъемным приспособлением. Если сушильное отделение оборудовано вакуум-котлами колокольного типа и каждая строительная длина кабеля находится на барабане с вертикальной осью, установленном на перемещающейся тележке, конструкция камеры ожидания упрощается, так как в этом случае отпадает необходимость в устройстве специальных транспортных средств внутри камеры (рис. 10.12).

В понятие режима сушки входят способ и максимальная температура нагрева кабеля, плотность тока, температура, при которой производится сушка кабеля,

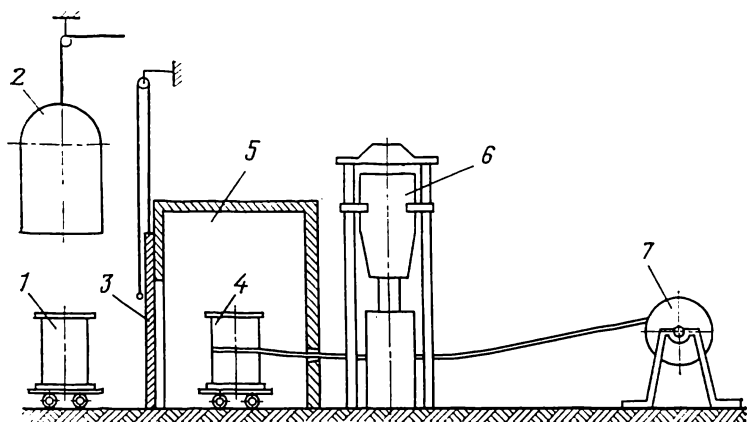


Рис. 10.12. Схема расположения оборудования в сушильном и пресовом отделениях при транспортировании вертикальных барабанов на тележках.

1 — барабан на тележке; 2 — вакуум-котел колокольного типа в открытом положении; 3 — подъемная дверь камеры ожидания; 4 — барабан в камере ожидания; 5 — камера ожидания; 6 — станина пресса; 7 — приемник пресса.

остаточное давление и время сушки. Технологические режимы сушки различных типов кабелей связи определяются типом и длиной кабеля на барабане, плотностью его намотки, свойствами его изоляции и конструкцией применяемого сушильного оборудования.

Сушка кабелей с бумажной изоляцией производится в вакууме при температуре 120—130°C. Режимы сушки кабелей связи с разнородной изоляцией, в состав которой входят ненагревостойкие материалы (полистирол или полиэтилен), значительно отличаются от режимов сушки кабелей с однородной бумажной изоляцией. Для

полистирола и полиэтилена температура 68—75°C является предельной, а применение электроподогрева может привести к оплавлению изоляции.

Процесс сушки кабеля можно разделить на две части: нагрев, во время которого сообщаемая кабелю теплота затрачивается на повышение его температуры до максимально допустимой, и собственно сушку, когда сообщаемая кабелю теплота расходуется на испарение влаги. Если нагрев происходит за счет передачи теплоты от стенок вакуум-котла, целесообразнее производить его частично или полностью при атмосферном давлении, так как при вакууме теплопередача от стенок к поверхности кабеля ухудшается и нагрев кабеля требует больше времени. С этой же целью иногда применяют циклическую сушку, периодически снимая вакуум: при включении вакуума из-за бурного испарения влаги температура кабеля снижается, при снятии вакуума улучшается теплопередача от стенок котла к кабелю и температура кабеля повышается. Если для ускорения нагрева кабеля по его жилам пропускается электрический ток, целесообразно и нагрев и сушку вести при вакууме. В этом случае, хотя теплопередача от стенок вакуум-котла к кабелю резко ухудшается, температура кабеля растет достаточно быстро, а процесс испарения и удаления влаги начинается значительно раньше.

При нагреве кабеля путем передачи теплоты от стенок вакуум-котла наиболее нагретыми оказываются витки, расположенные во внешнем (наружном) слое, а наименее нагретыми — витки, находящиеся в центре намотки кабеля. При нагреве током, пропускаемым по жилам кабеля, наибольшую температуру имеют центральные витки кабеля на барабане. При комбинированном нагреве кабеля за счет передачи теплоты от стенок вакуум-котла и нагреве жил кабеля электрическим током неравномерность нагрева различных участков кабеля на барабане становится минимальной, так как на каждом участке кабеля происходит суммирование теплоты, выделяемой от стенок аппарата, и теплоты, выделяемой за счет нагрева электрическим током.

▼ Температура изоляции контролируется в наиболее нагретом участке кабеля. Во избежание перегрева бумажной изоляции ее температура не должна превышать 135°C (в наиболее нагретом участке). При резко неравномерном распределении температуры в процессе на-



грева часть витков кабеля имеет температуру значительно ниже  $130^{\circ}\text{C}$  и общая длительность сушки зависит от степени сушки изоляции именно этих витков. В то же время при постоянной разности температур между наиболее и наименее нагретыми витками кабеля дальнейшее увеличение температуры наименее нагретых витков лимитируется максимально допустимой температурой наиболее нагретого участка. Неравномерность нагрева отдельных участков, возникшая во время нагрева кабеля, сохраняется в процессе вакуумной сушки.

▼ Большое значение имеет температура, до которой кабель нагревается током и при которой он сушится. Наилучшее значение имеет температура, до которой он сушится. Наилучшее значение имеет температура, до которой он сушится. Наилучшее значение имеет температура, до которой он сушится.

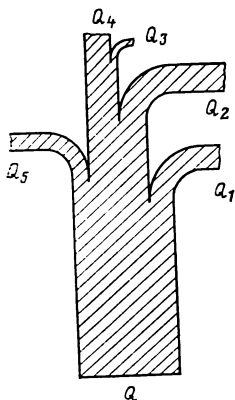


Рис. 10.13. Тепловой баланс нагрева током городских телефонных кабелей.

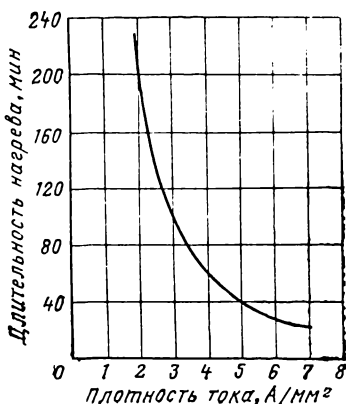


Рис. 10.14. Зависимость времени нагрева кабеля от плотности тока.

более интенсивное испарение влаги в случае нагрева электрическим током при атмосферном давлении происходит при  $110\text{—}140^{\circ}\text{C}$ ; при этом кратковременное (менее 1 ч) воздействие температуры  $135^{\circ}\text{C}$  на бумажную изоляцию не вызывает заметного изменения ее механических свойств. Однако местный контроль температуры кабеля в процессе сушки (по температуре одной-двух точек) не может дать гарантии, что в кабеле нет отдельных мест с еще более высокой температурой. В то же время даже кратковременное превышение температуры сверх  $140^{\circ}\text{C}$  вызывает повышенную хрупкость бумажной изоляции. Поэтому в большинстве случаев нагрев кабелей электрическим током ведется до  $125\text{—}130^{\circ}\text{C}$ .

Качество и продолжительность сушки изоляции кабеля в значительной мере зависят от остаточного давления. Необходимое минимальное остаточное давление зависит от абсолютного количества влаги, подлежащей удалению, длины и плотности намотки кабеля на барабане или в корзине, а также монолитности конструкции кабеля, обуславливающей трудность удаления влаги из изоляции. Для кабеля с воздушно-бумажной и корделько-бумажной изоляцией, имеющей воздушные каналы и малый объем бумаги в общем объеме изоляции (15—30%), минимально допустимое остаточное давление составляет 93—96 кПа. Можно хорошо высушить воздушно-бумажную и кордельно-бумажную изоляцию кабелей связи при меньшем остаточном давлении (80—86,5 кПа) однако в этом случае длительность сушки приходится увеличивать в 1,5—2,0 раза.

Тепловой баланс процесса нагрева городского телефонного кабеля током показан на рис. 10.13. Общее количество теплоты  $Q$ , необходимое для сушки кабеля, складывается из:

$Q_1$  — количества теплоты, расходуемой на нагрев токопроводящих жил до заданной температуры;

$Q_2$  — количества теплоты, расходуемой на нагрев изоляции кабеля до заданной температуры;

$Q_3$  — количества теплоты, расходуемой на нагрев влаги, имеющейся в изоляции кабеля, до температуры кипения при заданном вакууме;

$Q_4$  — количества теплоты, расходуемой на испарение влаги при температуре кипения;

$Q_5$  — потерь теплоты на излучение в окружающую среду.

Все слагаемые, за исключением  $Q_5$ , достаточно точно рассчитываются по общеизвестным формулам на основании массы материала, удельной теплоемкости, разности температур и других факторов.

Потери теплоты на излучение в окружающую среду определяются на основании опытных данных и составляют примерно 20% суммы

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

Следовательно, общее количество теплоты, необходимое для сушки кабеля связи,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 1,2(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4).$$

Время нагрева кабеля до заданной температуры зависит от плотности тока, пропускаемого по его жилам, и потерь теплоты в окружающую среду.

Для нагрева кабеля используется постоянный ток, который в данном случае имеет следующие преимущества перед переменным: отсутствие индукционных потерь, удобство регулирования напряжения.

На рис. 10.14 показана расчетная зависимость от применяемой плотности тока времени нагрева городского телефонного кабеля с воздушно-бумажной изоляцией  $100 \times 2 \times 0,5$  от 20 до  $120^\circ\text{C}$ . Приведенная кривая показывает, что увеличение плотности тока с 2 до  $7 \text{ А/мм}^2$  сокращает время нагрева более чем в 11 раз. Кроме того, при этом увеличивается равномерность нагрева всех витков кабеля на барабане. Действительно, при медленном нагреве током в течение 3 ч (плотность тока около  $2,0 \text{ А/мм}^2$ ) периферийные витки кабеля значительную часть своей теплоты отдают в окружающую среду, в то время как центральные витки изолированы от этой среды. В результате при медленном нагреве кабеля наблюдается существенный перепад температур между центральными и периферийными витками кабеля на барабане, достигающий 20 и даже  $30^\circ\text{C}$ . При увеличении плотности тока до  $6\text{—}7 \text{ А/мм}^2$  скорость нагрева кабеля резко возрастает, время нагрева уменьшается до 20—30 мин. За этот период периферийные витки кабеля не успевают отдать в окружающую среду большое количество теплоты и, следовательно, между центральными и периферийными витками кабеля нет резкой разницы температуры.

Сушка кабелей связи с ненагревостойкой изоляцией производится в вакуум-котлах, обогреваемых паром, маслом или горячей водой. Рекомендуется для этой цели применять масло или воду, имеющие температуру  $90\text{—}100^\circ\text{C}$ . Применение горячей воды или масла значительно уменьшает возможность перегрева кабеля, упрощает процесс и облегчает регулирование сушки.

Для ускорения нагрева коаксиальных комбинированных кабелей с шайбовой полиэтиленовой изоляцией иногда также используется постоянный ток. При этом во избежание перегрева полиэтиленовой изоляции ток пропускается не по проводам коаксиальных пар, а по вспомогательным жилам, имеющим кордельно-бумажную изоляцию. При этом плотность тока не превышает

5 А/мм<sup>2</sup>. Нагрев и сушка проводятся под вакуумом. Первые 2 ч в вакуум-котле поддерживается давление до 6 кПа, дальнейшая сушка продолжается при остаточном давлении не более 2,7 кПа. Для поддержания температуры кабеля в пределах 70—75°C периодически производятся повторные включения тока меньшей плотности (3 А/мм<sup>2</sup>). Регулирование температуры кабеля производится автоматически. Процесс сушки считается законченным, если  $\operatorname{tg}\delta \leq 0,005$ , а сопротивление изоляции сигнальных жил  $R_{\text{из}} \geq 2500$  ГОм·м.

Такие способы сушки предусматривают длительное пребывание кабелей связи в котлах (от 15 до 30% всего цикла производства). Кроме того, как указывалось выше, благодаря различным тепловым условиям, в которых находятся отдельные витки кабеля, качество их сушки различно. Стационарный способ сушки в котлах требует установки громоздкого оборудования, занимающего большую производственную площадь и потребляющего значительные количества пара и электроэнергии.

Принципиально возможно создать устройства и осуществить процесс непрерывной сушки кабелей связи. При таком процессе, который целесообразно совмещать с наложением влагозащитной оболочки, кабель должен разматываться с отдающего барабана и проходить через сушильное устройство, в котором нагреву и сушке последовательно будет подвергаться каждая точка движущегося кабеля. Непрерывные нагрев и сушка кабеля в зависимости от того, в какой его части (поясной или жилой изоляции) содержится наибольшее количество влаги, могут осуществляться соответственно лучистой энергией или средствами высокочастотной электротермии. Оба эти способа предполагают бесконтактную связь источника энергии с объектом нагрева.

С помощью лучистой энергии можно эффективно осуществить непрерывный процесс сушки лишь тех типов кабелей, у которых гигроскопичные материалы располагаются на поверхности кабеля, так как зона активного поглощения инфракрасных лучей у полупрозрачных тел, к которым относятся капиллярно-пористые тела, в частности бумага, в зависимости от структуры материала может составлять от 0,1 до 2,0 мм. Поэтому хорошее качество непрерывной сушки кабелей с кордельно-полистирольной изоляцией может быть обеспечено при быстром нагреве инфракрасными лучами их

поясной бумажной изоляции (без перегрева и оплавления ненагревостойкой изоляции жил).

В то же время **В**ысокочастотный нагрев жил (индукционный) и изоляции (диэлектрический) эффективен в тех случаях, когда необходимо обеспечить быстрый и концентрированный нагрев определенных участков кабеля. При этом индукционный нагрев целесообразно применять для сушки многожильных кабелей, нуждающихся в равномерном выделении теплоты по всему сечению, а диэлектрический — при сушке кабелей с комбинированной изоляцией, в которых наряду с негигроскопичной пластмассовой имеется гигроскопичная бумажная изоляция. В этом случае благодаря разнице в значениях  $\text{tg}\delta$  основная часть теплоты выделяется в толще бумажной изоляции, что позволяет существенно интенсифицировать процесс сушки.

### *Глава одиннадцатая*

## **НАЛОЖЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

### **11.1. СПОСОБЫ НАЛОЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

Оболочки из свинца, алюминия, стали и других металлов изготавливают и накладывают на электрические кабели различными способами — путем прессования, сварки или пайки из лент, затяжки в заранее изготовленные металлические трубы с их последующей осадкой.

Первым промышленным способом изготовления металлических кабельных оболочек было прессование свинцовых оболочек, при котором предварительно нагретый свинец выдавливается через кольцевой канал, образованный формующим инструментом. Возможность осуществления такого процесса основывается на том, что при температуре около  $200^\circ\text{C}$  свинец приобретает пластичность, необходимую для его выпрессовывания в виде трубки через кольцевой зазор при сравнительно небольших давлениях (200 МПа).

Изготовление свинцовых оболочек таким способом применяется и до настоящего времени. Изменились лишь конструкции и устройство агрегатов для наложения свинцовых оболочек, так называемых свинцовых прессов.

Прессование алюминиевых оболочек встречается опре-

деленные трудности. Это в первую очередь необходимость применения больших давлений (700 МПа) и высоких температур, достигающих 450° С. При таких давлениях и температурах прессование алюминиевых оболочек требует применения существенно более сложного оборудования и может оказывать вредные тепловые воздействия на изоляцию кабеля. Поэтому наряду с разработкой оборудования и технологии прессования алюминиевых оболочек создавались и другие методы их изготовления — сварка и пайка из лент, затяжка кабеля в предварительно изготовленные трубы с их последующей усадкой.

Прессование стальных оболочек принципиально возможно, однако требует таких температур и давлений, которые практически неосуществимы. Поэтому для изготовления стальных оболочек применяется только их сварка или пайка из лент. В связи с тем, что гладкие тонкостенные стальные трубы, которыми по существу являются стальные оболочки, не обладают гибкостью, необходимой для их намотки на барабаны, процесс изготовления стальных кабельных оболочек предусматривает не только их сварку, но и последующее гофрирование.

## **11.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ПРЕССОВ ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ СВИНЦОВЫХ ОБОЛОЧЕК**

В СССР для наложения свинцовых оболочек применяются прессы двух типов: гидравлические прессы периодического действия (в дальнейшем именуемые гидравлическими прессами) и червячные (механические) прессы непрерывного действия (в дальнейшем червячные прессы).

### **11.2.1. Гидравлические прессы**

Принцип действия гидравлического пресса для наложения свинцовых оболочек понятен из рис. 11.1. В предварительно подогретый контейнер пресса из свинцеплавильной ванны заливают жидкий свинец. После охлаждения и кристаллизации свинца в контейнере поршень с пресс-штемпелем, приводимые в движение давлением жидкости, создаваемым гидравлическими насосами высокого давления, опускаются и продавливают свинец через канал прессовой головки в кольцевой зазор меж-

ду сменным формующим инструментом — дорном и матрицей. Одновременно через прессовую головку проходит заготовка кабеля, на которую накладывают свинцовую оболочку.

После выдавливания порции металла, залитой в рабочий цилиндр — контейнер (за исключением неболь-

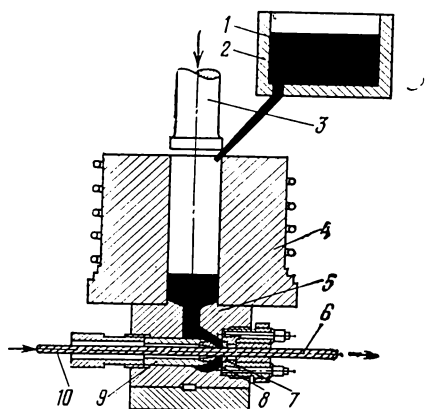


Рис. 11.1. Принцип действия гидравлического пресса для наложения свинцовых оболочек.

1 — расплавленный свинец; 2 — свинцовая ванна; 3 — пресс-штемпель; 4 — контейнер; 5 — прессовая головка; 6 — свинцовая оболочка; 7 — матрица; 8 — дорн; 9 — дорнодержатель; 10 — заготовка кабеля.

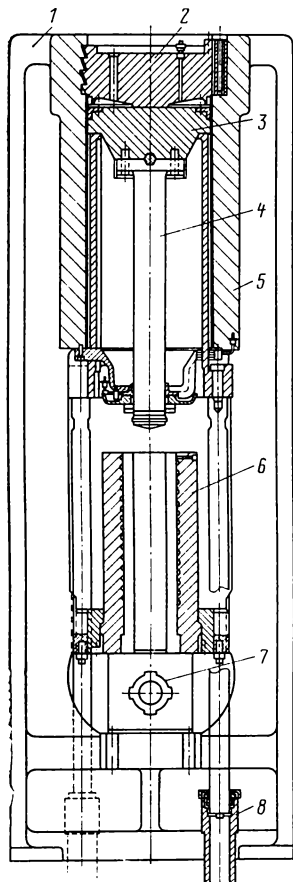


Рис. 11.2. Гидравлический пресс для наложения свинцовых оболочек.

1 — станина; 2 — крышка гидравлического цилиндра; 3 — плунжер; 4 — пресс-штемпель; 5 — гидравлический цилиндр; 6 — контейнер; 7 — головка; 8 — цилиндр обратного хода.

шой части, остающейся в контейнере и называемой пресс-остатком), поршень и пресс-штемпель возвращаются в исходное положение, в контейнер заливают новую порцию свинца, которая приваривается к пресс-остатку и кристаллизуется. После этого процесс повторяется. Во время заливки и кристаллизации прессование

прекращается, но кабель остается в прессовой головке. Таким образом, хотя гидравлический пресс работает циклично, накладываемая на нем оболочка может иметь неограниченную длину. Каждый цикл прессования состоит из трех стадий: рабочего хода пресс-штемпеля, во время которого выпрессовывается оболочка; холостого или обратного хода пресс-штемпеля, когда он поднимается и освобождает в контейнере место, необходимое для заливки новой порции свинца; остановки пресса, во время которой в контейнер заливается жидкий свинец и происходит его охлаждение и кристаллизация.

Вертикальный свинцовый пресс (рис. 11.2) обычно имеет литую раму и неподвижный контейнер. Прессы с подвижным контейнером в настоящее время почти не применяются и поэтому дальше не рассматриваются.

Вертикальные гидравлические прессы для наложения свинцовых оболочек независимо от их мощности состоят из ряда частей и деталей, одинаковых по конструкции, но отличающихся по размерам. Их основными частями являются станина с гидравлическим цилиндром и плитой, на которой устанавливается прессовая головка, поршень гидравлического цилиндра и пресс-штемпель, контейнер и прессовая головка, гидравлические цилиндры и поршни обратного хода, а также фасонная траверса, соединяющая поршни обратного хода с основным поршнем. Кроме перечисленных частей собственно пресса в состав агрегата входит ряд вспомогательных устройств: гидронасосы высокого давления, коробка управления гидросистемой и трубопроводы высокого и низкого давления, устройства для нагрева и охлаждения контейнера и головки, свинцеплавильные ванны с загрузочными механизмами, отдающие устройства для размотки заготовки и приема освинцованного кабеля.

Стальной литой поршень служит для восприятия давления воды в гидроцилиндре и передачи давления прессования на пресс-штемпель. Уплотнение поршня,двигающегося в медной втулке гидроцилиндра, производится с помощью V-образной кожаной манжеты. К нижней части поршня с помощью болтов крепят пресс-штемпель. Диаметр пресс-штемпеля меньше диаметра отверстия контейнера. Уплотнение и направление пресс-штемпеля в контейнере осуществляют с помощью составного бронзового кольца, укрепленного на конце пресс-штемпеля (диаметр головки штока на 2—2,5 мм меньше диа-



метра отверстия контейнера, а разница диаметров отверстия контейнера и бронзового кольца составляет всего 0,1—0,15 мм).

В контейнер пресса периодически заливают свинец, который затем выпрессовывается при рабочем ходе штока. Контейнер изготавливают из легированной стали, выдерживающей высокую рабочую температуру. Он представляет собой толстостенный полый цилиндр, по внутренней образующей которого проходят каналы для нагрева и охлаждения с помощью воды, пара или масла. В тело контейнера запрессовывается толстостенная втулка, изготовленная из особо прочной и жаростойкой стали.

Прессовая головка (рис. 11.3) устанавливается на станине непосредственно под контейнером и представляет собой литой блок из специальной легированной жаростойкой стали. Головка имеет три отверстия: два, расположенных горизонтально по одной оси и предназначенных для установки прессового инструмента и прохождения кабеля, и третье — в верхней части головки, примыкающей к контейнеру, для заливки свинца из контейнера в головку.

Прессовая головка до рабочих температур нагревается вставляемыми в нее электрическими нагревательными элементами. Прессовая головка является одной из наиболее сложных и ответственных деталей пресса. При

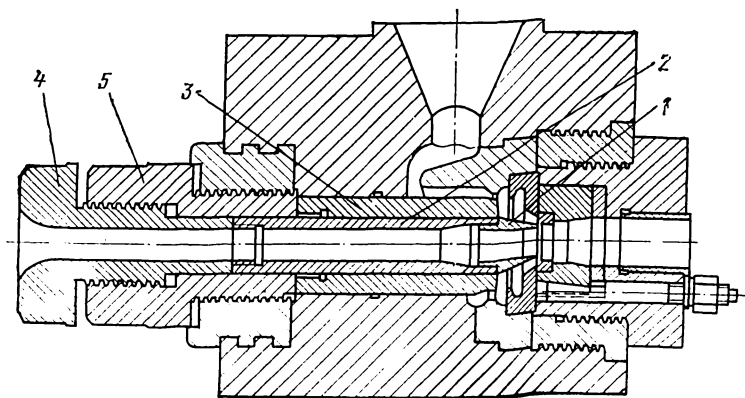


Рис. 11.3. Прессовая головка.

1 — дорн; 2 — дорнодержатель; 3 — втулка; 4 — упорная гайка; 5 — упорная часть втулки дорнодержателя.

выпрессовывании оболочки поток свинца, движущийся вертикально из контейнера, делится на два полупотока, обтекает дорнодержатель и, поворачивая на  $90^\circ$ , выдавливается в виде трубки — оболочки в кольцевой зазор между формирующим инструментом — дорном и матрицей. Размеры (диаметр, толщина) и качество (разностенность) оболочки в значительной степени зависят от конфигурации полостей прессовой головки, размеров и расположения прессового инструмента в головке, а также от температурного режима головки. Для того чтобы обеспечить максимально возможную равномерность толщины оболочки по периметру при одностороннем (сверху) поступлении потока свинца и его повороте на  $90^\circ$ , полостям и каналам внутри прессовой головки придается сложная форма. Кроме того, для этой цели внутри головки устанавливают постоянные и сменные детали.

Гидравлические цилиндры и поршни обратного хода расположены в фундаменте пресса и служат для поднятия пресс-штемпеля и главного поршня при холостом ходе пресса. При рабочем ходе главного поршня поршни обратного хода перемещаются вниз. Фасонная траверса, соединяющая поршни обратного хода с главным поршнем, в нижней части имеет форму двойного полукольца, переходящего в средней части в сегментные опоры и в верхней части в сплошное кольцо, на которое опирается главный поршень.

Насосы высокого давления служат для подачи в гидроцилиндр пресса воды под давлением до 40 МПа. В зависимости от усилия прессования и емкости контейнера пресса применяются поршневые трехплунжерные насосы производительностью от 35 до 80 л/мин. Для соединения и управления работой основных механизмов гидросистемы пресса служат сеть трубопроводов и распределительный блок (дистрибутор), откуда через коробку управления вода может быть направлена в основной гидравлический цилиндр или в цилиндры обратного хода.

Марки основных моделей прессов рамного типа состоят из букв КВ (кабельный, вертикальный) и цифры, которая, будучи увеличена в 10 раз, соответствует полезному объему рабочего гидроцилиндра пресса в литрах. Так, марка КВ-60 означает, что полезный объем гидроцилиндра пресса равен 600 л. Полный объем гидроцилиндра обычно превышает полезный объем на 50 л.

### 11.2.2. Червячные прессы

Принцип действия наиболее распространенного червячного пресса для наложения свинцовых оболочек показан на рис. 11.4.

Расплавленный свинец из свинцеплавильной ванны по свинцепроводу поступает в контейнер. В контейнере помещен червяк, приводимый в движение электродвигателем через редуктор. Контейнер охлаждается водой, и свинец по мере движения в контейнере постепенно кристаллизуется. Затвердевший свинец подается в прессо-

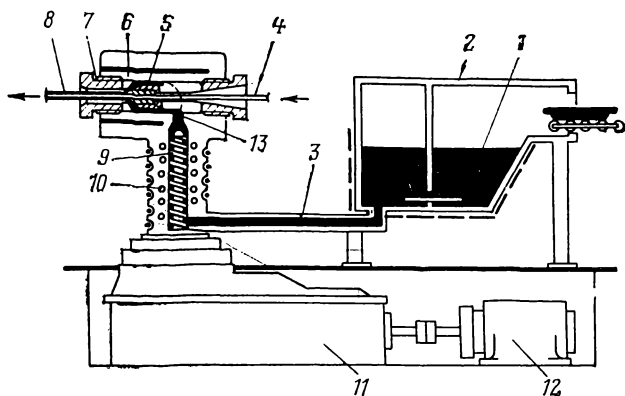


Рис. 11.4. Принцип действия червячного пресса для наложения свинцовых оболочек.

1 — расплавленный свинец; 2 — свинцеплавильная ванна; 3 — свинцепровод; 4 — заготовка кабеля; 5 — дорн; 6 — головка пресса; 7 — матрица; 8 — свинцовая оболочка; 9 — червяк; 10 — контейнер; 11 — редуктор; 12 — электродвигатель; 13 — дорнодержатель.

вую головку, где благодаря создаваемому червяком давлению выпрессовывается между дорном и матрицей, непрерывно образуя вокруг кабеля свинцовую оболочку. Заготовка кабеля движется под действием выпрессовываемой оболочки. В головке пресса происходит поворот потока свинца на  $90^\circ$ , так как ось прохождения кабеля перпендикулярна оси подачи свинца. По этой причине поток свинца разделяется на части, обтекает дорнодержатель с дорном, а затем вновь соединяется, из-за чего в оболочке образуется продольный шов.

Кроме рассматриваемого пресса с вертикально расположенным червяком известны прямоточные червячные

прессы с горизонтальным полым червяком, внутри которого проходит кабель (прессы английских фирм «Хенли» и «Пирелли Джeneral». Однако вследствие сложности устройства и неустойчивости в работе такие прессы большого распространения не получили.

Червячный пресс является сложным агрегатом, состоящим из многих связанных между собой механизмов: главного двигателя, редуктора, контейнера с системой охлаждения, червяка, прессовой головки, плавильных ванн, системы свинцепроводов, пульта управления и ря-

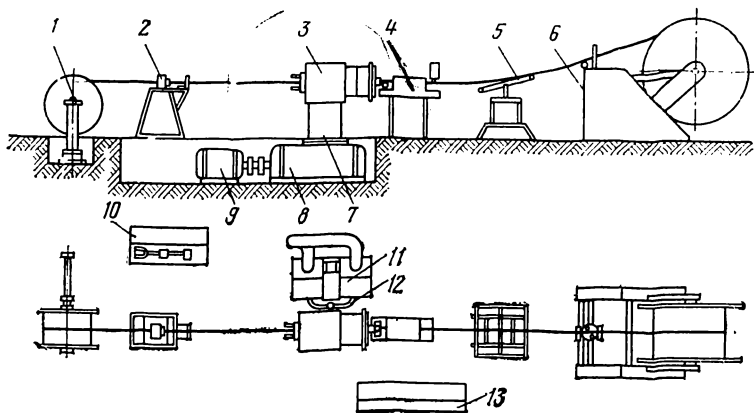


Рис. 11.5. Схема агрегата наложения свинцовой оболочки на червячном прессе.

1 — отдатчик кабеля; 2 — счетчик метража; 3 — головка с гидравлическим регулирующим устройством; 4 — устройство для охлаждения и смазки кабеля; 5 — датчик регулятора скорости приемного устройства; 6 — приемное устройство; 7 — контейнер; 8 — редуктор; 9 — электродвигатель; 10 — теплообменник; 11 — плавильные ванны; 12 — свинцепровод; 13 — пульт управления.

да вспомогательных механизмов: приемника и отдающего устройства для кабеля, устройства для резки кабеля, счетчика длины, устройства для охлаждения и смазки кабеля и т. п. Общий вид агрегата червячного прессы схематически показан на рис. 11.5. Расположение главного двигателя, редуктора, червяка и свинцепроводов было показано на рис. 11.4. Главный двигатель обычно применяют коллекторный с регулируемым положением щеток, что дает возможность изменять его частоту вращения и, следовательно, частоту вращения червяка в отношении 1 : 4. В зависимости от модели (номера) прессы мощность двигателя изменяется от 33 (пресс

№ 3) до 81 кВт (пресс № 5). Нагрузка главного двигателя контролируется амперметром и регистрирующим прибором, установленными на пульте управления.

Редуктор пресса соединен с главным двигателем при помощи упругой и предохранительных муфт. В верхней части редуктора расположен опорный роликовый подшипник, воспринимающий усилие прессования. При работе опорный подшипник должен постоянно смазываться и охлаждаться минеральным маслом. Поступление масла к опорному подшипнику контролируется при помощи двух поплавковых указателей.

Контейнер пресса — двухслойный: он состоит из корпуса и запрессованной в него втулки. Снаружи на контейнере располагают кольцевые нагревательные элементы, а внутри корпуса спиральные каналы для охлаждающей воды. Охлаждение контейнера производится обессоленной водой (конденсатом), которая в свою очередь охлаждается проточной водой. В центральном канале контейнера имеются продольные пазы, предназначенные для продольного перемещения свинца при подаче его червяком и предотвращения прокручивания свинца вместе с червяком.

Контейнер внизу соединен со свинцепроводом, а в верхней части — с прессовой головкой. Температура контейнера измеряется четырьмя (в старых конструкциях прессов пятью) термометрическими преобразователями. Расход воды по зонам охлаждения измеряется четырьмя ротаметрами.

Червяк (рис. 11.6) имеет коническую форму и своим основанием крепится на выходной части редуктора. Червяк имеет постоянный шаг и уменьшающуюся глубину нарезки. Благодаря уменьшению объема канала червяка по мере продвижения свинца вверх контейнера происходит его компрессия — создается давление, необходимое для дальнейшего перемещения свинца через головку и его выдавливания в виде оболочки кабеля.

В головке пресса происходит поворот свинца и образование свинцовой оболочки. Головка имеет два канала: сквозной горизонтальный и несквозной вертикальный. В горизонтальном канале на резьбе закреплена опорная втулка, фиксирующая положение дорнодержателя с дорном. В корпусе головки имеются отверстия для нагревательных элементов и двух термоэлектрических преобразователей. Между головкой и контейнером размещено

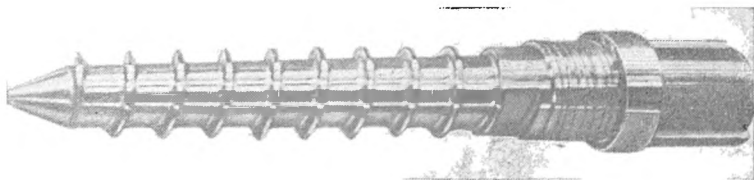


Рис. 11.6. Червяк пресса непрерывного действия.

уплотнительное кольцо, при помощи которого обеспечивается их плотное прилегание. Головка соединяется с контейнером при помощи болтов. Регулировка толщины оболочки осуществляется путем изменения расстояния между дорном и матрицей с помощью гидравлического регулирующего устройства, закрепляемого в передней части головки.

Принцип работы гидравлического регулирующего устройства показан на рис. 11.7. При подкачивании масла ручным насосом в масляной камере создается противодавление прессованию и резьба установочного вилка разгружается. После этого поворотом штурвала изменяют расстояние между дорном и матрицей и тем самым — толщину оболочки. После снятия противодавления масла благодаря давлению свинца матрица устанавливается в новом положении. При эксплуатации регулирующего устройства необходимо следить за подачей воды в камеру, так как при ее отсутствии уплотнения из-за перегрева быстро выходят из строя.

Регулировка разностенности оболочки по окружности производится либо вручную при помощи четырех регулировочных болтов, установленных в передней части головки, как это показано на рис. 11.7, либо с помощью гидравлического центрирующего устройства (ГЦУ) (рис. 11.8). Рабочее масло двумя шестеренчатыми насосами из бака подается в четыре гидравлических цилиндра, расположенных на головке пресса. Внутри цилиндров находятся направляющие потока, которые при помощи масла поддерживают штоки и, следовательно, регулировочное кольцо строго в заданном положении, не зависящем от изменения давления свинца. Положение направляющих потока и штоков регулируется при помощи микрометрических винтов. Для регулирования толщины оболочки необходимо отвернуть микрометриче-

ский винт (со стороны оболочки с наименьшей толщиной) на половину разности толщин и затем завернуть микрометрический винт противоположного цилиндра до тех пор, пока давление в цилиндре, который регулировался первым, не достигнет первоначального. Далее необходимо восстановить первоначальное давление во втором (сдвигающем) цилиндре. Нормальное рабочее

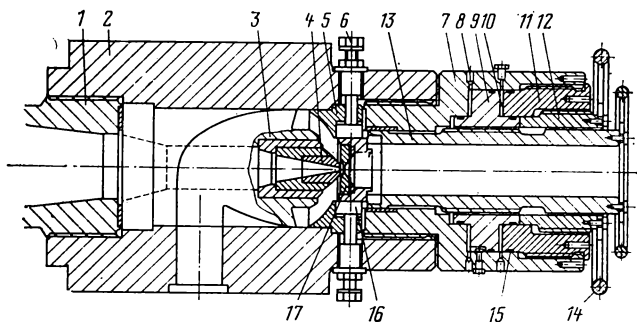


Рис. 11.7. Головка пресса с гидравлическим регулирующим устройством.

1 — задняя втулка; 2 — корпус головки; 3 — дорнодержатель; 4 — дорн; 5 — дроссельное кольцо; 6 — регулировочный болт; 7 — корпус гидравлического регулирующего устройства; 8 — водяная камера; 9 — поршень; 10 — масляная камера; 11 — втулка; 12 — установочный винт; 13 — нажимной винт; 14 — штурвал; 15 — прокладки; 16 — установочное кольцо; 17 — матрица.

давление, при котором обеспечивается удержание матрицы в нужном положении, равно 4,9 МПа. При регулировке давление в сдвигающем цилиндре может быть поднято до 29,4 МПа.

Цилиндры охлаждаются маслом, которое насосами из бака подают в охлаждающие рубашки. Давление рабочего и охлаждающего масла контролируют манометрами и регулируют предохранительными клапанами, установленными на панели.

На боковой стенке головки расположено предохранительное устройство, работа которого основана на том принципе, что в случае превышения давления свинец выдавливает в предохранительном диске отверстие и свинец получает дополнительный аварийный выход. Части пресса (червяк, втулка контейнера, головка и др.), работающие под давлением и при повышенных температурах, изготовлены из специальных сталей.

Плавильная ванна разделена вертикальной перегородкой на независимо обогреваемые зоны плавления и выдержки, в нижней части соединенные между собой каналом. Для сигнализации уровня жидкого свинца в ванне имеется поплавковый индикатор. Сверху в зале плавления ванн размещается лопастная мешалка, необходимая для получения равномерного состава свинцовых сплавов. Измерение и регулирование температуры нагрева по зонам плавильных ванн производят с помощью двух или трех термоэлектрических преобразователей и электронагревательных элементов. Для сплава свинца

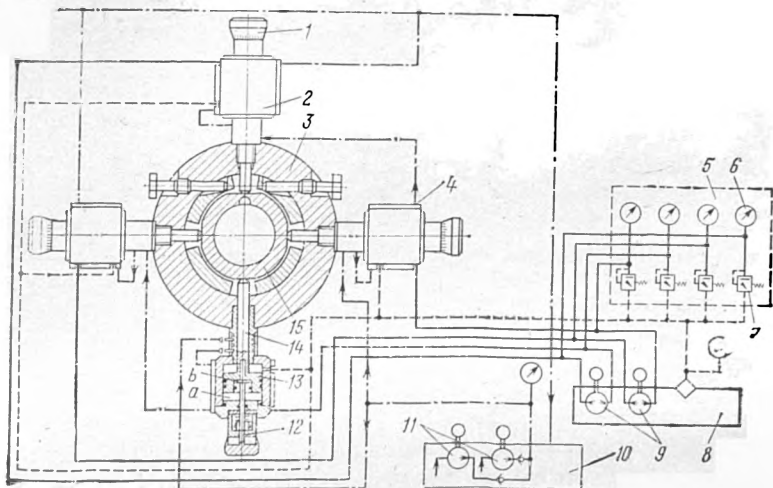


Рис. 11.8. Гидравлическое центрирующее устройство.

1 — микрометрический винт; 2 — гидравлический цилиндр; 3 — головка пресса; 4 — охлаждающая рубашка; 5 — панель; 6 — манометры; 7 — предохранительный клапан; 8 — бак для масла; 9 — шестеренчатые насосы; 10 — бак; 11 — насосы; 12 — клапаны; 13 — поршень; 14 — штоки; 15 — регулировочное кольцо; а и б — полости для масла.

в дне каждой зоны плавильной ванны имеются отверстия, перекрываемые вентилями. Обычно каждый червячный пресс снабжен двумя ваннами, что дает возможность прессовать различные сплавы и производить чистку ванн без длительных остановок пресса. Для механизации загрузки плавильных ванн слитки свинца тельфером укладывают штабелями на подъемном столе, откуда они поочередно подаются на наклонный рольганг и по направляющим роликам скатываются в загрузочную зону плавильной ванны.



Свинцепровод состоит из двух отдельных труб, идущих от каждой из плавильных ванн, и общего участка, соединяющего эти трубы с контейнером. Нагрев свинцепровода производят электронагревательными элементами, вставленными внутрь свинцепровода, или прямым нагревом труб за счет пропуска по ним электрического тока низкого напряжения. При этом ток до 5000—6000 А подводят к свинцепроводу по медным шинам, которые при помощи водоохлаждаемых башмаков прижимаются к контактам свинцепровода. Температуру нагрева свинцепровода измеряют двумя термоэлектрическими термометрами. Регулирующие потенциометры установлены на пульте управления. Там же расположены и потенциометры для регулирования температуры прессовой головки, контейнера и плавильных ванн. Кроме того, на пульте управления имеются кнопки включения маслонасосов, вентилятора, главного двигателя и вспомогательных механизмов.

К вспомогательным механизмам червячного пресса относятся: отдающее устройство для заготовки кабеля, приемное устройство для намотки готового кабеля, устройства для охлаждения и смазки кабеля, счетчик длины и устройство для резки кабеля. В качестве отдающих устройств при наложении оболочек на силовые кабели чаще всего применяют устройства корзиночного типа с самостоятельным приводом, а на кабели связи — непригодные отдающие устройства осевого типа.

Приемные устройства прессов могут быть различного типа. Однако, учитывая непрерывность работы таких прессов, целесообразно применять не одинарные, а вдвоенные устройства. В последнее время наряду с приемными устройствами валкового, осевого и пинольного типов начинают применяться приемные (и отдающие) устройства траверсного типа с подвеской барабана на тележке, перемещающейся по горизонтальной балке, опирающейся на боковые стойки. Такие приемные устройства могут быть одинарными и вдвоенными. С их помощью можно наматывать кабель на барабаны диаметром 900—3000 мм, шириной 490—1760 мм и массой до 15 т. Преимущество приемных и отдающих устройств траверсного типа заключается в их компактности, возможности быстрой смены барабанов (не более 1,5 мин), а также возможности проезда внутрицехового транспорта в проеме, образуемом боковыми стойками. На

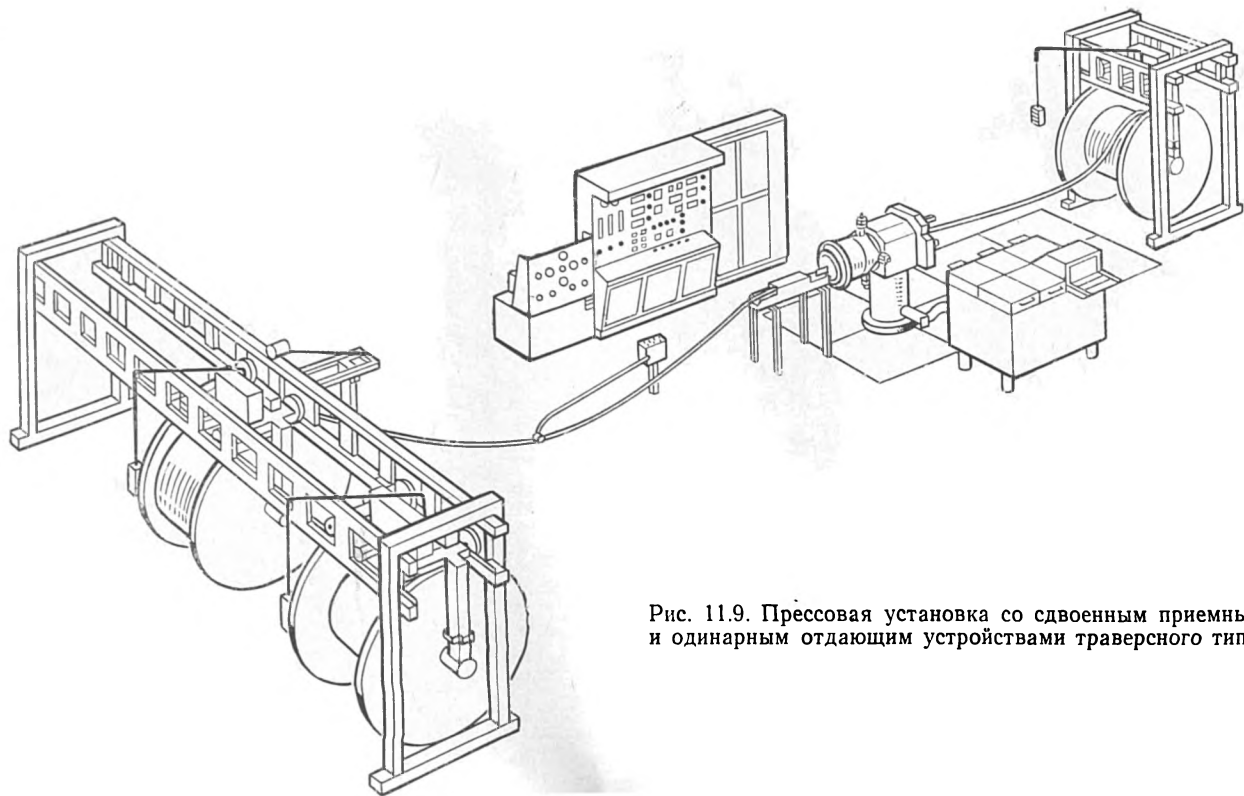


Рис. 11.9. Прессовая установка со сдвоенным приемным и одинарным отдающим устройствами траверсного типа.

рис. 11.9 показан пресс со сдвоенными приемным и оди-  
нарным отдающим устройствами траверсного типа.

Основные характеристики наиболее распространен-  
ных червячных прессов приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

**Основные характеристики червячных прессов фирмы  
„Хансон—Робертсон“ (Швеция)**

Наименование характеристики	Номер модели пресса		
	3	4	5
Производительность на чистом свинце, кг/мин	23—25	32—35	50—55
Диаметр прессуемой оболочки, мм	6—85	9—115	9—115
Тип головки	9	11	11 и 12 <sup>1/4</sup>
Вместимость плавильных ванн, т	4,3 и 7,5	7,5 и 10,0	7,5 и 10,0
Мощность нагревателей плавильных ванн, кВт	60 и 75	75 и 100	75 и 100
Установленная мощность, кВт	240—255	270—300	310—340
Площадь, занимаемая агрегатом, м <sup>2</sup>	80	90	126

### 11.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАЛОЖЕНИЯ СВИНЦОВЫХ ОБОЛОЧЕК

Технологический процесс наложения свинцовых оболочек начинается с подготовки агрегата к работе, включающей расплавление свинца, нагрев контейнера пресса и головки, выбор и установку прессового инструмента, подготовку гидросистемы гидравлических прессов, отдающего, приемного устройств и кабеля.

В свинцеплавильные ванны сухие и чистые слитки свинца загружаются с помощью тельферов или каких-либо других механизмов. Марки загружаемого свинца проверяют по нанесенной на них маркировке. Согласно стандарту на слитках свинца, применяемого для изготовления кабельных оболочек, должна быть выбита его марка. Кроме того, на слитки наносится цветная маркировка. Так, слитки марки С2 маркируются одной желтой полосой, а слитки марки С3 — одной синей полосой. Для обеспечения стабильной работы пресса рекомендуется не смешивать свинец различных марок и разных заводов-изготовителей.

Диаметр и толщина стенки прессованной оболочки в основном зависят от размеров и взаимного положения дорна и матрицы, т. е. от конфигурации кольцевого зазора между ними. Под воздействием давления и температуры установленное положение дорна и матрицы в процессе прессования изменяется. Особое значение это имеет для прессов прерывного действия, где давление металла резко изменяется во время цикла прессования. Так как прессовый инструмент (дорн и матрица) поддерживается в установленном положении на резьбе опорных втулок, то под влиянием давления прессования они могут отодвигаться друг от друга, а при остановках пресса, во время которых давление уменьшается, они сближаются друг с другом, уменьшая кольцевой зазор

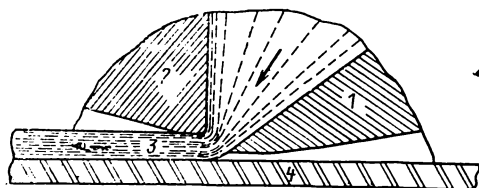


Рис. 11.10. Схема течения металла между дорном и матрицей.

1 — дорн; 2 — матрица; 3 — оболочка; 4 — заготовка кабеля.

и, следовательно, толщину оболочки. Кроме линейного дорн и матрица могут уметь угловое перемещение, связанное с неодинаковым давлением прессуемого металла с разных сторон дорна. Это перемещение также влияет на толщину стенки кабельной оболочки.

Изменение толщины оболочки вызывается также нестабильностью температуры и давления в зоне формирования оболочки. При повышении температуры металла уменьшается давление прессования (при постоянной скорости), расстояние между дорном и матрицей уменьшается и, следовательно, оболочка становится тоньше. В прессах периодического действия неравномерность температуры сказывается особенно сильно, так как новые порции металла имеют более высокую температуру, нежели старые.

Независимо от конструкции пресса и прессовой головки металл течет между дорном и матрицей так, как это схематически показано на рис. 11.10. При этом оболочка при выходе из канала, образованного дорном и матрицей, деформируется и ее внутренний и наружный диаметры уменьшаются. При наложении оболочки на

движущуюся вместе с оболочкой заготовку кабеля эта деформация ограничивается его диаметром. Непрерывность прессования является важнейшим условием соблюдения температурного режима и режима давления, стабильность которых обеспечивает минимальные колебания толщины оболочки. Для сохранения непрерывно-

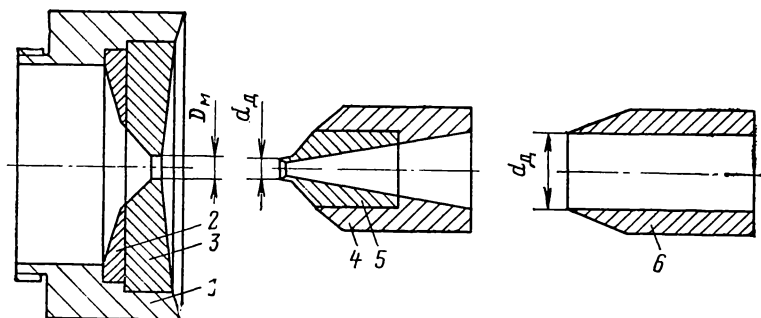


Рис. 11.11. Технологический инструмент червячного пресса.

1 — матрицедержатель; 2 — вкладыш; 3 — матрица; 4 — дорнодержатель; 5 — дорн для кабеля диаметром до 35 мм; 6 — дорн для кабеля диаметром более 35 мм.

сти прессования, а также уменьшения потерь времени при переходе от пусковых режимов работы прессов непрерывного действия к рабочим, при смене отдающих и приемных барабанов обычно пресс не останавливают, а трубу для переплавки возвращают в свинцеплавильную ванну.

Перед началом работы необходимо проверить качество и размеры заготовки кабеля и установить технологический инструмент — дорн и матрицу (рис. 11.11). Обычно его изготавливают из легированной стали марок 5ХНВ или 5ХНМ и закаливают до твердости 42—44 единицы по Роквеллу, тщательно отшлифовывают. Размеры инструмента указываются в технологической инструкции на пресс. С целью достижения требуемых электрических характеристик на кабели связи свинцовую оболочку накладывают с зазором до 0,1 мм, а на силовые кабели на напряжение 1 кВ с обжатием 0—0,4 мм. С ростом рабочего напряжения обжатие возрастает и для кабелей на напряжение 20—75 кВ может достигать 0,6—0,8 мм. Рекомендуемые размеры дорнов приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

## Размеры дорнов при наложении свинцовой оболочки

Диаметр заготовки кабеля, мм	Диаметр внутреннего отверстия дорна, мм
До 15	$D_{\text{каб}} + (1,0 \div 1,5)$
15—30	$D_{\text{каб}} + (1,5 \div 2,0)$
30—40	$D_{\text{каб}} + (2,0 \div 2,5)$
40—50	$D_{\text{каб}} + (2,5 \div 3,0)$
Выше 50	$D_{\text{каб}} + (2,5 \div 3,5)$

Таблица 11.3

## Время кристаллизации свинца

Диаметр заготовки кабеля, мм	Ориентировочное время кристаллизации, мин
До 10	7
10—20	8
20—30	9
30—40	10
Выше 40	12

Размер внутреннего отверстия матрицы  $D_m$  выбирается исходя из соотношения

$$D_m = d_d + (2 \div 2,1) \delta \text{ — для силовых кабелей;}$$

$$D_m = d_d + (2,1 \div 2,2) \delta \text{ — для кабелей связи.}$$

где  $\delta$  — номинальная толщина свинцовой оболочки, мм;  
 $d_d$  — диаметр внутреннего отверстия дорна, мм.

Установив заготовку и приемный барабан и разогрев пресс до пусковых температур, приступают к его пуску и работе.

На гидравлическом прессе перед заливкой свинца в рабочий цилиндр необходимо перемешать свинец в плавильной ванне. Затем, подняв пресс-штемпель в верхнее положение и удалив свинец с его цилиндрического пояса и из секторов насадочной чаши, закрепленной на торце контейнера, смазывают головку пресс-штемпеля тонким слоем графитовой смазки с тем, чтобы свинец не прилипал к головке, и производят заливку свинца в контейнер. Заливку свинца производят при помощи разъемной заливочной трубы до тех пор, пока свинец не начнет растекаться по торцу контейнера или по секторам насадочной чаши. Неполная заливка контейнера допускается лишь в тех случаях, когда необходимо произвести освинцевание ограниченной длины кабеля и прекратить затем работу на прессе. Продолжительность заливки свинца должна быть минимальной и не превышать 60 с.

После заливки свинца необходимо немедленно снять окислы с его поверхности и, включив центробежный насос гидросистемы прессы, быстро ввести пресс-штемпель в контейнер, чтобы частично вытеснить верхний слой свинца и тем самым предотвратить его окисление

с поверхности. Время контакта жидкого свинца с воздухом не должно превышать 90 с. Затем, остановив пресс-штемпель и выждав 10—15 с, постепенно поднимают давление в главном гидроцилиндре и выпрессовывают 3—5 м свинцовой трубы (эта операция называется подпрессовкой). После подпрессовки снижают давление в гидросистеме до 5—10 МПа и выдерживают свинец под этим давлением в течение времени, необходимого для его кристаллизации. Кристаллизация под давлением обеспечивает уплотнение и усадку свинца без образования пузырей внутри слитка и пустот между свинцом и стенкой контейнера. Время выдержки (кристаллизации) зависит от емкости контейнера, диаметра и толщины оболочки и приведено в табл. 11.3.

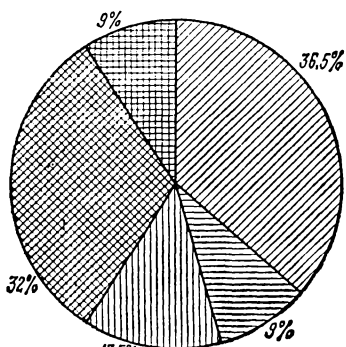
При значительном сокращении времени кристаллизации против значений, указанных в табл. 11.3, при работе пресса происходит выброс жидкого свинца из головки пресса, что может привести к травмам и порче свинцовой оболочки.

По истечении установленного времени кристаллизации свинца приступают к наладке и прессованию оболочки. Для этого выдавливают 25—40 м оболочки при скорости, близкой к рабочей, и производят измерение толщины внутреннего и наружного диаметров оболочки. Регулировку толщины оболочки по периметру производят путем перемещения матрицедержателя при помощи четырех клиновидных болтов. Изменение общей толщины оболочки производят путем изменения зазора между дорном и матрицей (в осевом направлении). Трубку выпрессовывают и проверяют после каждой регулировки до достижения требуемой разностенности. По окончании наладки производят заправку заготовки кабеля в пресс и намотку освинцованного кабеля на приемный барабан. Процесс прессования осуществляют до тех пор, пока стрелка указателя пресс-штемпеля не дойдет до отметки «Стоп». Затем шток поднимают в крайнее верхнее положение, производят заливку новой порции свинца, и цикл повторяется.

Представление о примерной длительности отдельных составляющих полного цикла освинцевания на гидравлическом прессе дает круговая диаграмма, представленная на рис. 11.12. Для того чтобы иметь более полное представление о длительности одного цикла освинцевания, следует также учитывать операции смены отдаю-

щего и приемного барабанов или корзин. Если эти операции приходится на период заливки контейнера и кристаллизации свинца, то для их выполнения не требуется дополнительного времени. Но часто бывает так, что опрессование строительной длины кабеля заканчивается в период рабочего хода пресс-штемпеля, тогда процесс наложения оболочки приходится прерывать на то время, которое требуется для смены барабанов или корзин.

По мере выдавливания свинца из контейнера для работы пресса требуется все меньшее и меньшее внеш-








-  Рабочий ход штока
-  Холостой (обратный) ход штока
-  Заливка свинца в рабочий цилиндр и уплотнение свинца
-  Выдержка (охлаждение) свинца
-  Регулировка прессового инструмента

Рис. 11.12. Диаграмма составляющих цикла прессования.

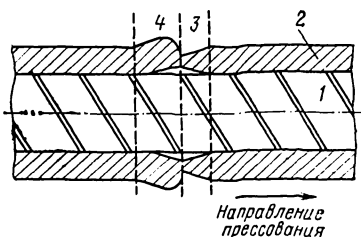


Рис. 11.13. Схема образования «бамбукового кольца» на оболочке.

1 — кабель; 2 — свинцовая оболочка; 3 — изменение толщины оболочки при снятии давления; 4 — изменение толщины оболочки от момента возобновления прессования до стабилизации процесса.

нее давление на свинец. В результате дорн и матрица, которые в начальный момент выпрессовывания расклинивались давлением свинца, постепенно сближаются, что в свою очередь приводит к уменьшению толщины свинцовой оболочки. Это обстоятельство приходится учитывать при начальной заправке пресса.

Толщина оболочки также меняется при остановках пресса, которые происходят весьма часто по различным причинам: заливка свинца, перезаправка заготовки, смена инструмента и т. п. При остановках из-за снижения рабочего давления уменьшаются упругие деформации дорна и матрицы, расстояние между ними сокра-



щается и оболочка становится тоньше. После возобновления работы давление прессования резко возрастает из-за охлаждения металла, находящегося в зоне деформации, что приводит к кратковременному увеличению толщины оболочки. В результате при остановках действия гидравлических прессов на оболочке образуются участки с резко неравномерной толщиной, имеющие утоненные и соответственно ослабленные места, так называемые «бамбуковые кольца» (рис. 11.13). Следы остановки процесса прессования («бамбуковые кольца») необходимо тщательно осматривать и при наличии даже незначительных дефектов производить их пропайку непосредственно на прессе или при дальнейшей перемотке кабеля.

Учитывая принципиальные конструктивные отличия червячных свинцовых прессов от гидравлических, следует иметь в виду, что и технология наложения оболочек на червячных прессах во многом отличается от описанной выше технологии, принятой при работе на гидравлических прессах. Запуск червячного пресса начинают после нагрева свинцеплавильных ванн, свинцепроводов, контейнера и прессовой головки. Затем открывают вентиль плавильной ванны, подают жидкий свинец в контейнер, включают масляный насос и главный двигатель пресса с таким расчетом, чтобы начальная частота вращения червяка была равной 3—5 об/мин. Через 2—3 мин работы пресса в таком режиме производят постепенное охлаждение контейнера до рабочих температур, приведенных в табл. 11.4. Далее, по мере увеличения частоты вращения червяка в среднем до 10 об/мин постепенно усиливают охлаждение, следя за тем, чтобы при работе пресса между верхней и нижней частью контейнера все время поддерживался перепад температур, равный 40—60°C.

Температурные режимы прессования, приведенные в табл. 11.4, являются ориентировочными и зависят от марки прессуемого свинца, состава свинцового сплава, состояния контейнера и т. д. Как правило, при работе на старых контейнерах и червяках температура прессования должна быть несколько ниже. С уменьшением температуры и увеличением охлаждения контейнера производительность прессов возрастает, однако стабильность процесса прессования уменьшается. Оптимальные режимы прессования устанавливаются экспе-

## Температурные режимы работы червячных прессов, °С

Зона измерения температуры	Тип пресса		
	№ 3	№ 4	№ 5
Головка пресса:			
верх	300±5	300±5	300±5
низ	295±5	290±5	295±5
Контейнер:			
верх	180±20	210±20	270±10
низ	260±30	330±30	330±20
Свинцепровод	370±20	360±20	400±20
Коллектор (тройник)	380±20	380±20	400±20
Плавильная ванна:			
зона плавления	380±20	380±20	390±20
зона выдержки	390±20	390±20	390±20

риментальным путем для каждого пресса в отдельности.

После выхода на рабочие температурные режимы производят регулировку расхода охлаждающей воды таким образом, чтобы при последующей работе пресса обеспечивались постоянство температуры контейнера и стабильность толщины свинцовой оболочки. Затем начинают опрессование кабеля. После опрессования строительной длины кабеля производят проверку и при необходимости корректировку толщины оболочки. Во время прессования строительной длины температура контейнера не должна отклоняться от принятого режима более чем на  $\pm 3^\circ\text{C}$ , головки — на  $\pm 10^\circ\text{C}$ , нагрузка главного двигателя не более чем на 10 А.

#### 11.4. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НАЛОЖЕНИЯ СВИНЦОВЫХ ОБОЛОЧЕК НА МАСЛО- И ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ КАБЕЛИ И КАБЕЛИ СВЯЗИ

Оболочки масло- и газонаполненных кабелей изготавливают из свинцового сплава, чаще всего содержащего 0,05—0,08% меди. При этом в свинцеплавильные ванны прессов загружают готовый медистый свинец необходимого состава или свинец марок С2 и С3 и сплав меди со свинцом, так называемую лигатуру, содержащую 1,5—2,0% меди. После загрузки в ванну необходимого количества лигатуры производят тщательное

перемешивание готового сплава и проверку содержания меди путем химического анализа. В процессе наложения оболочки с целью выявления возможных дефектов контролируют ее поверхность. В верхний и нижний концы кабеля впаивают вентили, через которые для проверки герметичности и механической прочности оболочки подают углекислый газ под давлением до 0,8 МПа.

При наложении свинцовых оболочек на кабели диаметром более 70 мм для предотвращения боковых утолщений оболочки увеличивают время кристаллизации свинца до 10—15 мин, снижают температуру прессовой головки до 155—160°C и устанавливают эллипсоидное кольцо специальной формы.

При наложении свинцовой оболочки на маслonaполненные кабели с пропитанной изоляцией пространство между свинцовой оболочкой и изоляцией заполняют дегазированным маслом. Масло с помощью насоса направляется в прессовую головку, в патроне и дорнодержателе которой в этом случае делают каналы, необходимые для подачи масла непосредственно к прессовому инструменту.

Для облегчения изгиба кабелей большого диаметра при их укладке в приемные корзины применяют гусеничные изгибающие устройства или направляющие ролики.

Основное отличие технологии наложения свинцовых оболочек на кабели связи от наложения оболочек на другие типы кабелей обусловлено применением свинца, содержащего упрочняющие присадки. Необходимость упрочнения свинцовых оболочек кабелей связи вызвана тем, что кабель, скрученный из жил с воздушно-бумажной или подобной ей изоляцией, не является устойчивой опорой для оболочки, которая вследствие этого работает в более тяжелых условиях, чем в силовых кабелях (особенно в отношении вибрационных нагрузок). Большую часть кабелей связи в свинцовой оболочке (городских телефонных кабелей около 70%) изготавливают без брони. Кабели связи, как правило, эксплуатируют при избыточном внутреннем давлении газа. Все эти факторы обуславливают необходимость упрочнения свинцовых оболочек кабелей связи.

Механические свойства свинцовых оболочек, в частности их вибростойкость, главным образом зависят от их структуры. В этом отношении мелкозернистая струк-

тура свинца благоприятнее крупнозернистой. Смысл добавления к свинцу упрочняющих присадок состоит в том, что их присутствие в сплаве обеспечивает устойчивую мелкозернистую структуру оболочки. Благодаря этому присадка, например 1% сурьмы, повышает прочность свинца на разрыв в 2,5 раза, а его вибростойкость в 2 раза. Одновременно в 2 раза уменьшается ползучесть свинцового сплава сравнительно с чистым свинцом.

Все присадки в свинце обычно распределяются неравномерно. Для получения максимально однородного сплава в свинцеплавильные ванны добавляют не чистый металл, а промежуточные, так называемые эвтектические сплавы, содержащие такие количества исходных металлов, при которых обеспечивается наименьшая температура плавления сплава. Так, среди различных сплавов свинец — сурьма эвтектическим называется такой, который, обладая наименьшей температурой плавления (около 250°C), содержит 87% свинца и 13% сурьмы. Эвтектический сплав может добавляться в свинцеплавильную ванну пресса при обычной температуре нагрева свинца.

Стандарт на свинцовые оболочки кабелей связи предусматривает их изготовление, главным образом, из свинца с присадкой 0,4—0,8% сурьмы. Кроме того, отечественные и зарубежные стандарты предусматривают возможность изготовления оболочек из сплавов свинца с оловом (0,4%) и сурьмой (0,2%) и ряда других сплавов.

Применение для оболочек легированного свинца (в особенности сурьмянистого) вместо технически чистого повышает необходимые усилия прессования и снижает производительность прессов. Например, при применении сурьмянистого свинца, содержащего 0,6—0,8% сурьмы, давление прессования повышается на 20—30%. Несмотря на это, наложение сурьмянистых оболочек, содержащих до 1% сурьмы, на гидравлических прессах производится без особых затруднений (с несколько пониженной производительностью). Наложение оболочек из сурьмянистого свинца на червячных прессах вызывает определенные трудности. Во-первых, по мере увеличения присадки сурьмы производительность червячных прессов существенно уменьшается (рис. 11.14). Во-вторых, что не менее важно, в процессе прессования сурь-

мянистых сплавов иногда происходит дестабилизация технологических режимов, проявляющаяся в периодическом прекращении выхода оболочки при неизменной частоте вращения червяка, колебаниях тока главного двигателя и изменении температурных режимов контейнера. Причины возникновения неустойчивости работы пресса многообразны. В основном она имеет место из-за нарушения температурных режимов, загрязненности свинцепровода, червяка и контейнера, неравномерного и местами завышенного содержания сурьмы в сплаве и, наконец, отложения на червяке сплава, обогащенного сурьмой.

Особенность освинцевания кабелей связи заключается не только в применении легированного свинца. Во время наложения оболочки на кабели связи с легкоплавкой изоляцией из полистирола или полиэтилена во избежание ее оплавления в местах остановки действия гидравлических прессов заготовку кабеля приходится охлаждать перед входом в головку пресса. Охлаждение производится путем подачи сухого воздуха в канал дорнодержателя по трубкам, оканчивающимся в глубине дорнодержателя в непосредственной близости к дорну.

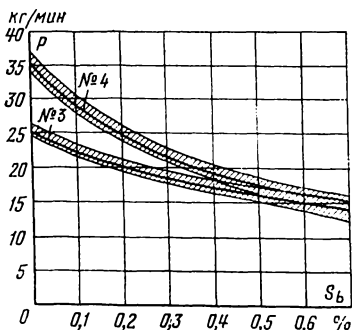


Рис. 11.14. Производительность червячных прессов № 3 и 4 в зависимости от содержания сурьмы в свинцовом сплаве.

## 11.5 СРАВНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ЧЕРВЯЧНЫХ ПРЕССОВ

Сравнение основных характеристик червячного и гидравлического прессов при работе на чистом свинце показывает, что при практически одинаковых занимаемой производственной площади и установленной мощности червячные presses обладают большей производительностью, имеют более простую конструкцию, большую надежность в работе, меньшую массу. Червячные presses обеспечивают лучшее качество оболочки — значительно меньшую разнотолщинность, отсутствие следов остановок, окислов и более однородную структуру свинца. Наиболее эффективно применение червячных прессов при изготовлении больших партий кабелей одного размера, так как частые переходы с одного размера на другой отри-

цательно сказываются на производительности червячного пресса в связи с тем, что после каждой остановки значительное время (несколько часов) уходит на разгон пресса и стабилизацию режима прессования.

В то же время, как было указано выше, прессование кабельных оболочек из сурьмянистого свинца на червячных прессах встречает определенные трудности: усилие прессования значительно возрастает, при колебаниях температуры происходит прокручивание сплава относительно контейнера и выход оболочки прекращается.

В целом на сурьмянистом свинце (0,4—0,6%) пресс № 3 работает устойчивее, чем прессы № 4 и 5. В то же время, если при работе на чистом свинце разница в производительности этих прессов существенна (до 40%), при работе на сурьмянистом свинце практически нет разницы в производительности прессов № 3 и 4 (см. рис. 11.14).

Наложение свинцовой оболочки на кабели связи на прессах непрерывного действия не только обеспечивает возможность получения оболочки высокого качества, но и улучшает электрические характеристики кабеля сравнительно с изготавливаемыми на прессах прерывного действия. Последнее объясняется тем, что значительное количество кабелей связи имеет изоляцию из пластических масс (полистирола, полиэтилена). Как было указано выше, во избежание оплавления этой изоляции в период остановки пресса периодического действия изоляцию приходится охлаждать с помощью специальных устройств. При изготовлении оболочек на прессах непрерывного действия необходимость в применении таких устройств отпадает.

Качество свинцовой оболочки зависит от количества имеющихся в ней ослабленных мест, — на гидравлических прессах периодического действия это места остановок работы пресса. С этой точки зрения для обеспечения равных свойств оболочек, изготовленных на прессах периодического и непрерывного действия, номинальные толщины оболочек, изготавливаемых на прессах непрерывного действия, могут быть сделаны меньшими. Большим преимуществом червячных прессов является значительное снижение разностенности по периметру и длине оболочки: от 0,2—0,3 мм на гидравлических до 0,04—0,06 мм и менее на червячных прессах.

Свинцовая оболочка кабеля, наложенная на прессах периодического действия, характеризуется неоднородностью структуры: сочетанием мелко- и крупнокристаллических образований, ослаблением окисными включениями в местах стыка оболочки после добавления новой порции свинца в контейнер.

Оболочка, наложенная на прессах непрерывного действия, практически свободна от окислов свинца, так как переход металла из жидкого состояния в твердое происходит не порциями, а непрерывно.

В целом благодаря своим неоспоримым преимуществам червячные прессы находят все более широкое применение.

В последние годы сделана попытка объединить достоинства гидравлических и червячных прессов путем создания гидравлического пресса непрерывного действия, в котором прессование производится в одну головку из двух попеременно работающих контейнеров. Однако вследствие сложности конструкции такие прессы пока не получили широкого распространения.

## 11.6. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ПРЕССОВ ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ОБОЛОЧЕК

Наложение алюминиевых оболочек методом прессования связано со значительными трудностями. Прессование алюминия производят при температурах 450—500°C, т. е. значительно больших, чем прессование свинца. Даже при таких высоких температурах для прессования алюминия требуются значительно большие усилия, чем для прессования свинца (650—750 МПа вместо 200 МПа). Температура плавления алюминия значительно выше, чем свинца, поэтому заливка расплавленного алюминия в контейнер пресса невозможна, так как приводит к повреждению кабеля и чрезмерному нагреву прессового инструмента. Кроме того, расплавленный алюминий разрушающе действовал бы на стенки рабочего цилиндра и прессовой головки. Поэтому в контейнер алюминиевого пресса загружаются алюминиевые слитки, предварительно нагретые до 430—530°C.

Прессы для наложения алюминиевых оболочек могут иметь различный принцип действия и устройство: они могут быть с одним или двумя контейнерами, вертикальными или горизонтальными. В настоящее время наибольшее распространение получили горизонтальные гидравлические прессы с двумя контейнерами. Схема двухконтейнерного прессования показана на рис. 11.15. Такая схема прессования обеспечивает значительное уменьшение силы прессования по сравнению с односторонним приложением давления (см. рис. 11.1).

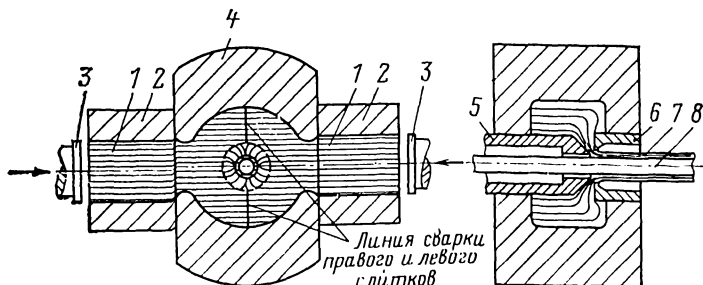


Рис. 11.15. Схема двухконтейнерного прессования алюминиевых оболочек.

1 — алюминиевый слиток; 2 — контейнер; 3 — пресс-штыбель; 4 — прессовая головка; 5 — дорн; 6 — матрица; 7 — оболочка; 8 — заготовка кабеля.

Подогретые алюминиевые слитки помещают в контейнер, откуда одновременно и синхронно двумя прессштемпелями слитки подаются в прессовую головку, где происходит сварка двух потоков металла. Дорн и матрица формируют оболочку, накладываемую на кабель. При этом в прессовой головке образуются два (верхний и нижний) продольных шва оболочки. После окончания прессования первой пары слитков процесс прерывают, в контейнеры подают новые слитки, которые своими торцами при распрессовке (осадке слитка, при которой его длина уменьшается, а диаметр увеличивается) привариваются в контейнерах к пресс-остатку, и цикл повторяется снова.

Конструкции агрегатов для наложения алюминиевых оболочек отличаются друг от друга, но, как правило, они состоят из ряда основных и вспомогательных механизмов, имеющих аналогичное назначение в прессах разных типов. Конструкции агрегатов рассматриваются ниже на примере отечественного прессы типа П6043 и прессы фирмы «Шлеман» (ФРГ).

Станина прессы устанавливается на его опорной раме. Основные механизмы прессы смонтированы на станине — это два гидравлических цилиндра рабочего хода (цилиндровая группа), цилиндры обратного хода (их два или четыре), блок из двух контейнеродержателей и прессовой головки, механизм синхронизации, механизм для демонтажа инструмента и др. На прессе П6043 станина состоит из двух траверс и двух распорок, скрепленных четырьмя колоннами. С целью уменьшения нагрузок на соединения частей станины при работе в этой модели прессы предусмотрена термозатяжка колонн, заключающаяся в их предварительном нагреве перед сборкой при помощи специальных нагревателей и затяжке после теплового удлинения. На других прессах станина, как правило, выполнена в виде цельнометаллической стальной конструкции, имеющей форму замкнутого прямоугольника.

Гидравлическая система прессы включает маслососную систему высокого давления, которая создает необходимое давление прессования, насосы низкого давления, при помощи которых осуществляется ряд вспомогательных операций (подача слитков, охлаждение масла, холостой ход и др.), трубопроводы высокого и низкого давления, пневмогидравлические аккумуляторы



высокого и низкого давления, при помощи которых снижается нагрузка на насосы при выполнении рабочего хода, а также на некоторых типах прессов осуществляется ряд дополнительных операций.

Регулирование подачи масла высокого и низкого давления осуществляется с помощью дистрибуторов и вентильных станций с электронным управлением, а также распределительных шиберов.

Пресс имеет два главных гидравлических рабочих цилиндра, создающих усилие прессования. На прессе П6043 для ускорения холостого и обратного ходов плунжера в последний встроен поршень обратного хода. На других прессах цилиндры обратного хода расположены отдельно от главного цилиндра. Непосредственно в плунжере или при помощи переходного поршня закрепляют пресс-штемпель с пресс-шайбой на торце, которая в процессе прессования соприкасается с нагретым алюминием. Диаметр пресс-шайбы обычно на 0,5—0,6 мм меньше диаметра отверстия контейнера.

Формование оболочки происходит в головке пресса, представляющей собой неразъемную массивную стальную деталь, в которой при помощи передней и задней опорных втулок установлен и закреплен технологический инструмент — дорн с дорнодержателем и матрица с матрицедержателем. Прессовая головка не имеет самостоятельного обогрева и нагревается за счет контакта с контейнерами, составляющими с ней единый блок. В некоторых конструкциях прессов применяют головки двух типов: малую для кабелей диаметром 10—60 мм и большую для кабелей диаметром 60—100 мм.

Контейнеры крепят в корпусе головки и выполняют в виде обоймы и одно- или двухслойной втулки. В обойме контейнера имеются отверстия для размещения нагревательных элементов. При установке контейнера должны быть приняты меры для предотвращения затекания алюминия в зазоры между втулками и головкой. Температура нагрева контейнера контролируется термоэлектрическим преобразователем. Блок из головки и контейнера закрепляют на станине в продольном и поперечном направлениях.

Головка, контейнер и пресс-штемпель называются тяжелым прессовым инструментом. Кроме тяжелого прессового инструмента на прессах применяется технологический инструмент: дорны и матрицы (рис. 11.16).

Для изготовления дорнов и матриц обычно применяют специальную сталь, закаленную до 46—48 единиц по Роквеллу. С целью повышения стойкости инструмента рекомендуется изготавливать его из легированной стали с термодиффузионным хромированием. Дорн и матрицу укрепляют соответственно в дорнодержателе и матрицедержателе. Последние вставляют в упорные втулки и крепят в них при помощи сегментных шпонок (пресс П6043). Как указывалось выше, в головке пресса свариваются оба прессуемых слитка, и через формирующую камеру алюминий поступает к формирующему инструменту. Регулировку толщины оболочки производят за счет

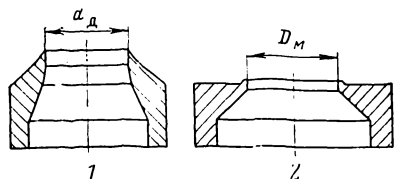


Рис. 11.16. Технологический инструмент.

1 — дорн; 2 — матрица.

осевого перемещения матрицы и дорна, осуществляемого вращением упорных втулок, связанных с храповым колесом механизма регулировки инструмента.

Для предохранения изоляции кабеля от повышенных тепловых воздействий горячего металла со стороны дорна монтируется теплозащитное устройство, представляющее собой сварную конструкцию из труб и наконечника, в которых под давлением циркулирует охлаждающая вода. Для защиты изоляции кабеля от обгорания в зоне дорна при остановках и при прессовании на небольших скоростях в наконечник вставлена спица, сцентрированная относительно дорна с воздушным зазором, предохраняющим ее от нагрева. Благодаря плотному сопряжению спицы с наконечником на значительной длине происходит интенсивный отвод тепла от кабеля. Охлаждение алюминиевой оболочки со стороны матрицы производится водой через душирующую трубу, на конец которой надевается дюза (сопло) для разбрызгивания воды на оболочку.

Храповое устройство (ключ), укрепленное на головке пресса со стороны выхода оболочки, служит для регулирования общей толщины оболочки в процессе как наладки, так и прессования путем изменения расстояния между дорном и матрицей за счет вращения опорной втулки матрицедержателя механизмом ключа. Так же

осуществляется отвод и подача матрицы при окончании цикла прессования (во избежание образования «бамбуковых колец»). Кроме того, храповое устройство предназначено для ввинчивания и вывинчивания инструмента при его смене. В некоторых прессах перемещение храпового колеса осуществляют с помощью гидравлических цилиндров высокого давления (например, пресс фирмы «Шлеман», ФРГ). Управление работой храпового устройства производится с главного пульта пресса в ручном или автоматическом режиме.

В двухконтейнерных прессах для получения разностенной оболочки заданных размеров должно быть обязательно выполнено условие, чтобы во время процесса прессования пресс-штемпели перемещались синхронно и имели одинаковое расстояние от вертикальной оси головки пресса. Для этой цели служит механизм синхронизации движения пресс-штемпелей, включающий указатель синхронизации, реечный измеритель разности пути, устройство для синхронизации хода и вспомогательные механизмы. Принцип действия системы синхронизации следующий. В верхней части пресса по обе стороны от головки расположены выдвижные зубчатые рейки, связанные с ведущими траверсами и с пресс-штемпелями. Зубья этих реек находятся в зацеплении с шестерней. При синхронном движении реек шестерня вращается вокруг оси. При нарушении синхронизации движения пресс-штемпелей шестерня продолжает вращаться вокруг оси, но при этом сама ось перемещается в сторону опережающего пресс-штемпеля на половину разности пути. Перемещение шестерни с помощью системы рычагов передается на указатель синхронизации движения пресс-штемпелей, а также преобразуется в электрический сигнал, используемый для управления насосами высокого давления с целью выравнивания пути, пройденного пресс-штемпелями. В различных конструкциях прессов такое регулирование осуществляется разными способами. В частности, на прессе П6043 к корпусу зубчатого колеса прикреплен упор. При перемещении корпуса упор передвигает золотник корректора, открывая на частичный слив полость опережающего гидроцилиндра. Скорость перемещения плунжера при этом уменьшается. Максимальная разность движения пресс-штемпелей, показываемая указателем синхронизации пути, равна 6 мм.

Для нагрева слитков перед прессованием применяются индукционные печи промышленной частоты. Индукторы этих печей изготавливаются из медной трубки и имеют форму спирали. При работе они интенсивно охлаждаются водой, протекающей внутри трубки. Нагрев слитков может быть двух типов: равномерный, при котором весь слиток имеет одинаковую температуру, и градиентный, при котором передняя часть слитка, примыкающая к головке, имеет температуру на  $80-100^{\circ}\text{C}$  выше, чем задняя часть. Равномерный нагрев слитков может также осуществляться в электрических печах сопротивления или газовых печах. Для предотвращения образования воздушных пузырей в оболочке при равномерном нагреве необходимо производить вакуумирование контейнера перед прессованием при помощи специальных вакуум-насосов, предварительно подав в контейнер шайбу из алюминия, выполняющую в контейнере роль пробки. При прессовании эта шайба сваривается с основным слитком. При градиентном нагреве необходимость в вакуумировании отпадает, так как слиток распрессовывается от более нагретой и более пластичной передней части к менее нагретой задней и воздух постепенно удаляется из контейнера. На отечественных кабельных прессах применяется только градиентный нагрев слитков.

На двухконтейнерных прессах имеются две одинаковые, работающие синхронно печи для нагрева слитков. Подача нагретых слитков от печей до уровня отверстий в контейнерах производится с помощью блок-подъемников или загрузчиков. Перемещение слитков в печи производится с помощью толкателя.

На главном пульте пресса сосредоточены кнопки управления процессом прессования — насосами, цилиндрами рабочего и обратного хода, нагревательными печами, приемным устройством и измерительные приборы контроля их работы.

В состав агрегата (рис. 11.17), кроме того, обычно входят: отдающее устройство корзинного или барабанного типа с регулятором скорости, счетчики длины и скорости, ножницы резки кабеля, устройство для гофрирования оболочки большого диаметра, приемник кабеля с механизмом раскладки.

Алюминиевые прессы обычно оснащают мощными приемниками пинольного типа, в которых раскладка ка-

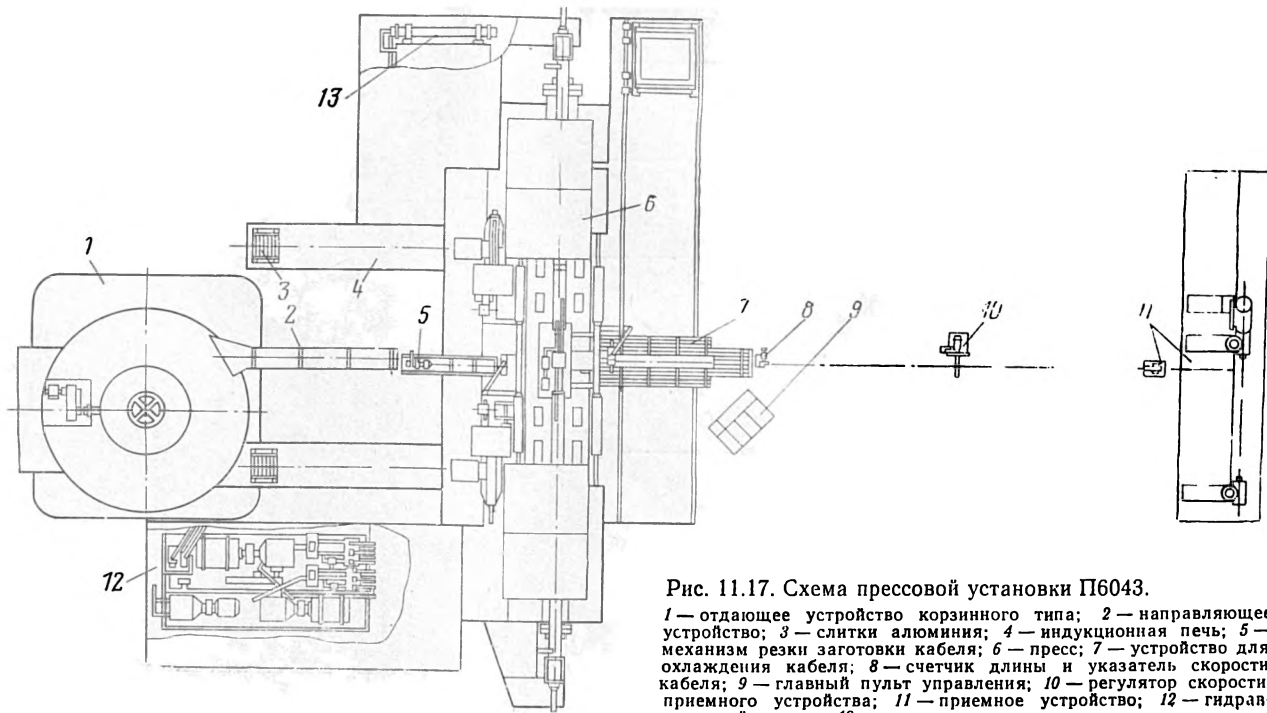


Рис. 11.17. Схема прессовой установки П6043.

1 — отдающее устройство корзинного типа; 2 — направляющее устройство; 3 — слитки алюминия; 4 — индукционная печь; 5 — механизм резки заготовки кабеля; 6 — пресс; 7 — устройство для охлаждения кабеля; 8 — счетчик длины и указатель скорости кабеля; 9 — главный пульт управления; 10 — регулятор скорости приемного устройства; 11 — приемное устройство; 12 — гидравлический привод; 13 — маслоохладитель.

беля осуществляется за счет осевого перемещения приемного барабана при постоянном направлении движения кабеля (поскольку кабели большого диаметра имеют недостаточную гибкость). Частота вращения приемных барабанов регулируется автоматически в зависимости от положения рамочного датчика.

Основные характеристики некоторых типов гидравлических алюминиевых прессов приведены в табл. 11.5.

Таблица 11.5

**Основные характеристики гидравлических прессов для наложения алюминиевых оболочек**

Параметр	Тип пресса				
	П1958	УЗТМ	2×4000	П6043	„Шлеман“*
Усилие, МН	2×20	2×51	2×41	2×20	2×16
Давление прессования, МПа	785	700	820	790	630
Рабочее давление, МПа	20	22	22	20	32
Масса слитка, кг	2×28,5	2×64,0	2×30,0	2×28,5	2×28,5
Диаметр слитка, мм	175	241	241	175	175
Марка алюминия не ниже	А6	А7	А7	А6	А6
Диаметр оболочки, мм	10—100	25—100	10—100	10—100	10—100
Паспортная производительность, кг/ч	1000	1740	1400	1200	740

В качестве примера рассмотрим последовательность работы механизмов агрегата П6043. Перед началом работы корзину или барабан с кабелем устанавливают на отдающее устройство пресса. Конец кабеля проводят через регулятор скорости отдающего устройства и до момента установления необходимой толщины оболочки оставляют у головки.

Алюминиевые слитки подают в нагревательные печи, где производится их градиентный нагрев. При достижении рабочей температуры слитки из печей блок-подъемником подают на ось прессования и далее холостым ходом плунжеров рабочих цилиндров под давлением масла 0,6—0,8 МПа происходит подача слитков в контейнеры. После соприкосновения слитков новой загрузки с пресс-остатком движение плунжеров прекращается, так как низкого давления масла недостаточно для распрессовки слитков.

После этого открывают сливные клапаны цилиндров блок-подъемников и последние опускаются в нижнее положение. Затем насосами высокого давления по-

дают масло в главные цилиндры, происходит распрессовка слитков и прессование алюминиевой трубки. Если геометрические размеры алюминиевой оболочки удовлетворяют требованиям, в головку через теплозащитное устройство пресса подают кабель и на заправочной скорости производят его опрессование. Опрессованный конец кабеля из головки проходит через охлаждающее и гофрирующее устройства (при необходимости гофрирования), счетчик длины, механизм отрезки кабеля, регулятор скорости приемного устройства и закрепляется на барабане. Далее включают автоматику приемного устройства, обеспечивающую регулировку скорости намотки и раскладку кабеля на приемном барабане, и на рабочей скорости производят прессование оболочки.

В процессе прессования система синхронизации обеспечивает одинаковое давление в обоих контейнерах пресса и равное перемещение пресс-штемпелей. Механизм храпового устройства автоматически изменяет расстояние между дорном и матрицей в зависимости от изменения давления прессования, тем самым сохраняя стабильность размеров оболочки.

Перед окончанием цикла прессования начинается нагрев следующей пары слитков. Когда пресс-штемпели приходят в крайнее положение, от конечного выключателя поступает сигнал на прекращение подачи масла от насосов высокого давления к рабочим цилиндрам и затем осуществляется быстрый возврат плунжеров в исходное положение путем подачи масла в цилиндры обратного хода. Нагретые слитки подаются в контейнеры и цикл повторяется.

Работа пресса может производиться как в автоматическом режиме, так и при ручном управлении механизмами с главного пульта пресса. Обычно в ручном режиме производится наладка пресса, а наложение оболочки осуществляется в автоматическом режиме.

## **11.7. ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ОБОЛОЧЕК**

Для обеспечения нормальной работы пресса контейнер и головка нагреваются до 460—500°C (в зависимости от типа пресса). Головка пресса самостоятельного обогрева не имеет (за исключением пресса УЗТМ2Х × 5000) и нагревается за счет теплопередачи от контей-

неров. Для того чтобы избежать температурных напряжений в массивном теле головки и прогреть до конечных температур части пресса, находящиеся в зоне теплового излучения, нагрев головки осуществляют постепенно. Например, нагрев блока головки прессов П6043 и фирмы «Шлеман» до 140—150°C надо производить со скоростью 10°C/ч и выдерживать при этой температуре в течение 12 ч. После выдержки производят окончательный нагрев до 430°C (П6043) и 500°C («Шлеман») с той же скоростью. Затем после выдержки в течение 48 ч и окончательного фиксирования головки можно начинать прессование. В некоторых прессах нагрев блока головки производят без промежуточной выдержки (со скоростью 10°C/ч) и с последующей выдержкой при окончательной температуре, по времени равной продолжительности нагрева.

Охлаждение головки при длительной остановке пресса также надо производить постепенно. Принудительный отвод тепла путем обдува и другими способами не допускается. При остановке пресса менее чем на 14 сут отключать нагрев не рекомендуется.

После окончания нагрева головки готовятся материалы и заготовка кабеля, подбирается и устанавливается инструмент. При загрузке слитков необходимо проверить, чтобы они были сухими и чистыми. На поверхности слитков не допускаются вмятины, забоины, раковины, а также слой масла или жира, следы коррозии. Геометрические размеры слитков должны удовлетворять требованиям, указанным в паспорте пресса. Заготовка кабеля поступает к прессу в корзине или на барабане. Температура заготовки кабелей связи должна соответ-

Таблица 11.6

**Максимальная температура силового кабеля перед наложением алюминиевой оболочки**

Напряжение кабеля, кВ	Температура кабеля, °С, не более
До 1	90
3	70
6	55
10	50
20—35	70

Таблица 11.7

**Зависимость  $k$ , мм, от диаметра кабеля**

Диаметр кабеля, мм	$k$
До 15	2,3—2,5
16—20	2,8
20—30	3,2
30—45	3,5
Свыше 45	3,8



ствовать температуре окружающего воздуха. Максимально допустимая температура для заготовки силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией приведена в табл. 11.6.

Измерив диаметр кабеля, подбирают и устанавливают технологический инструмент (дорн и матрицу).

Диаметр отверстия матрицы выбирают исходя из соотношения

$$D_m = D_k + 2\delta \pm \psi \pm k,$$

где  $D_k$  — диаметр кабеля, мм;  $\delta$  — толщина алюминиевой оболочки, мм;  $\psi$  — зазор (обжатие) кабеля, мм (как правило,  $\psi \leq 0,2$  мм);  $k$  — эмпирическая величина, характеризующая усадку алюминия и зависящая от диаметра кабеля (табл. 11.7).

Диаметр дорна выбирают из соотношения  $d_d = D_m - 2\delta$ .

Диаметр теплозащитного наконечника  $d_n = d_d - 2$  мм.

Диаметр сопла  $d_c = D_m + (0 \div 2)$  мм.

С целью получения плотной посадки наружные диаметры дорна и матрицы должны быть на 0,03—0,05 мм больше диаметров отверстий в дорно- и матрицедержателе.

Для уменьшения адгезии алюминия к стали, увеличения срока службы и облегчения разборки инструмент перед установкой необходимо смазывать графитной смазкой или высокотемпературной смазкой на основе дисульфида молибдена.

Поле установки технологического инструмента устанавливают теплозащитное и душирующее устройства и проверяют их центричность относительно дорна и матрицы.

При достижении температуры головки 460—500°C (в зависимости от типа пресса) и нагрева слитков до 400—530°C приступают к установке толщины оболочки. Для этого выдавливают 5—6 м трубки и производят проверку толщины по ее периметру. Толщина оболочки после наладки не должна более чем на 10% превышать номинальную толщину, указанную в технической документации. Если толщина оболочки по всему периметру больше или меньше требуемой, то при помощи храпового устройства соответственно уменьшают или увеличивают расстояние между дорном и матрицей. На большинстве гидравлических прессов регулировка разности между правой и левой, нижней и верхней сто-

ронами оболочки в процессе работы не предусмотрена. Уменьшение разностенности на этих прессах производят путем изменения положения дорна (смещения оси его установки), изменения температуры нагрева головки, изменения профиля каналов дорнодержателя, по которым проходит алюминий, и с помощью других мер.

Вырезав и вскрыв образец кабеля с «бамбуковым кольцом», проверяют микрометром толщину оболочки в зоне бамбукового кольца и степень подгорания изоляции. В последнее время появились отечественные и зарубежные приборы, позволяющие контролировать толщину оболочки в процессе ее наложения. Толщина оболочки не должна быть меньше минимально допустимого значения, а переход от утоненного участка оболочки к утолщенному должен быть плавным.

После окончательной настройки пресса в приемное устройство устанавливают приемный барабан с шейкой диаметром не менее 30 диаметров кабеля и производят опрессование кабеля.

При работе пресса толщина алюминиевой оболочки может изменяться и выйти за пределы допусков. Поэтому перед заправкой каждого конца кабеля необходимо повторно проверять толщину оболочки. В процессе длительной работы на одном и том же инструменте может произойти износ калибрующих поверхностей дорна и матрицы, в результате чего оболочка становится толще. В то же время при непрерывной интенсивной работе на повышенных скоростях за счет удлинения инструмента, нагретого трением прессуемого алюминия, зазор между дорном и матрицей уменьшается и оболочка становится тоньше. Поскольку изменение толщины оболочки приводит к изменению ее длины, постоянно следят по счетчику на пульте управления за длиной оболочки, получаемой из каждой пары слитков. При увеличении длины оболочки зазор увеличивают, при уменьшении — зазор уменьшают.

Температура оболочки кабеля, выходящего из охлаждающего устройства, не должна превышать 50°C при прессовании кабелей с полиэтиленовой или полистирольной изоляцией и 70°C для других кабелей. При наложении оболочек на кабели связи с легкоплавкой изоляцией для более эффективной защиты изоляции пресс необходимо дополнительно оборудовать устройствами для подачи осушенного воздуха или газа со сторо-

ны входа кабеля. Давление воздуха или газа должно быть не менее 0,2 МПа.

По окончании цикла прессования пресс-шайбу очищают от алюминиевой рубашки и покрывают тонким слоем графитовой смазки. При градиентном нагреве слитков время прохождения слитком участка от печи до начала распрессовки во избежание выравнивания температуры его передней и задней частей не должно превышать 45 с. Общее время остановки пресса с кабелем внутри головки не должно превышать 3 мин, так как при более длительной остановке сохранность изоляции не обеспечивается и кабель приходится разрезать.

Все данные об опрессованном кабеле, а также размер технологического инструмента и толщина оболочки должны быть записаны в специальном журнале. В процессе опрессования кабеля необходимо следить за качеством оболочки, на которой не допускаются риски, пузыри, инородные включения, стружка, вмятины, местные утолщения и гофры. Каждый барабан с кабелем после опрессования должен иметь сопроводительный ярлык (паспорт) с указанием марки и характеристики кабеля (сечения, напряжения, числа жил и длины) и фамилии старшего опрессовщика.

По окончании прессования нельзя оставлять недопрессованные слитки и пресс-штемпели в контейнерах. Остатки слитков необходимо выдавить в виде трубки и вывести пресс-штемпели из контейнеров. При этом обогрев контейнеров должен оставаться включенным.

Основные виды брака, встречающиеся при прессовании алюминиевых оболочек, такие же, как и при прессовании свинцовых (негерметичность, повышенная разностенность по длине или периметру оболочки, наличие рисок, вмятин и волнистости и т. п.).

Специфическим видом брака на прессах для наложения алюминиевых оболочек является подгорание изоляции кабеля. Оно может быть результатом недостаточного охлаждения заготовки кабеля или оболочки вследствие низкого (менее 0,4 МПа) давления воды в охлаждающей системе, засоренности душирующих отверстий сопла и др.

Причиной образования «бамбуковых колец» может явиться неправильная работа храпового устройства. При нанесении на пресс-штемпель толстого слоя смазки или наличии на поверхности слитков смазки и грязи

оболочка может не выдержать испытание растяжением на конус.

Попадание в поток прессуемого алюминия воздуха или газов, образующихся при нагревании неправильно нанесенной смазки, а также других посторонних включений приводит к возникновению дефектов оболочки (прострелов). Прострелы в оболочке могут также возникать из-за нарушения режима нагрева слитка, низкого качества самого слитка, неисправностей прессового инструмента и других нарушений установленных технологических режимов.

Если количество дефектов в оболочке невелико и их площадь незначительна, то оболочка может быть отремонтирована методом пайки. При большом количестве дефектов оболочка должна быть снята и кабель опрессован повторно.

Наложение алюминиевых оболочек методом прессования было одним из первых способов, позволившим организовать промышленное производство кабелей в алюминиевых оболочках неограниченной длины. Прессование обеспечило возможность наложения герметичных оболочек различных размеров, быстрый переход с одного размера кабеля к другому. Все эти достоинства первоначально сделали способ прессования наиболее распространенным при наложении алюминиевых оболочек.

В то же время методу прессования присущ ряд недостатков. Так, применяемый алюминий должен содержать не более 0,04—0,05% примесей, так как применение слитков с большим содержанием примесей требует резкого увеличения усилий прессования. При прессовании разброс толщин оболочки по ее периметру и длине велик и может достигать  $\pm 15\%$ , в результате чего для обеспечения необходимой минимальной толщины оболочек приходится увеличивать их среднюю толщину, что приводит к увеличенному расходу металла. Кроме того, методом прессования на существующем оборудовании нельзя изготавливать алюминиевые оболочки тоньше 0,8 мм. Организация производства прессованных оболочек требует больших капитальных затрат на приобретение дорогостоящего и сложного оборудования, больших производственных площадей и энергетических ресурсов. Кроме того, метод прессования неприменим для изготовления оболочек из стали, меди и ряда других метал-

лов, из которых в некоторых случаях должны изготавливаться оболочки.

Создание и широкое внедрение прессов для наложения алюминиевых оболочек не сняло, а лишь на некоторое время отодвинуло поиски других способов наложения оболочек — их сварки или пайки из лент.

## **11.8. СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ И СТАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК**

### **11.8.1. Дуговая сварка оболочек в среде защитного газа**

В настоящее время для сварки кабельных оболочек наиболее широко применяется метод электродуговой сварки в среде защитного газа. Разогрев и оплавление кромок свариваемой оболочки производятся электрической дугой, возникающей между основным металлом и электродом. При этом создается так называемая сварочная ванна, которая при затвердевании образует сварной шов. При дуговой сварке содержащиеся в воздухе кислород и азот могут взаимодействовать с расплавленным металлом, образуя окислы и нитриды, снижающие прочность и пластичность сварного соединения. Для устранения этого в зону сварки вводят защитные газы, чаще всего инертные, — аргон, гелий и их смеси.

В последние годы на кабельных заводах метод дуговой сварки в защитном газе применяется не только при производстве кабельных оболочек, но и для сварки внешнего (а в ряде случаев и внутреннего) проводника коаксиальных кабелей, а также для изготовления волноводов.

Схема агрегата для сварки кабельных оболочек в защитном газе и их гофрирования показана на рис. 11.18. Металлическая лента с отдающего устройства проходит через очистную установку, ножницы для обрезки кромок и поступает в формующее устройство, в которое с отдающего барабана одновременно подается кабель. Лента формуется вокруг кабеля, и ее края свариваются в сварочной головке. С целью придания цилиндрической формы оболочка редуцируется в валках. Для протягивания оболочки и кабеля и их удержания от закручивания при гофрировании служит тяговое устройство. Далее располагаются гофрирующее и приемное устройства.

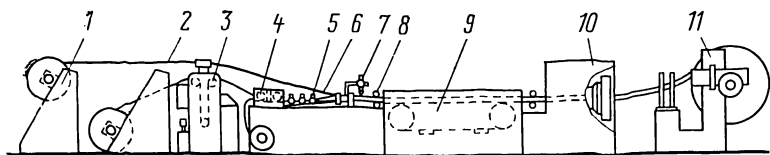


Рис. 11.18. Схема машины «Унивема».

1 — отдающий барабан с заготовкой кабеля; 2 — лента; 3 — очистная установка; 4 — ножницы для обрезки кромок; 5 — формующее устройство; 6 — заготовка кабеля; 7 — сварочная головка; 8 — редуцирующие валки; 9 — тяговый механизм; 10 — гофрирующее устройство; 11 — приемное устройство.

Для сварки кабельных оболочек и их гофрирования фирмой «Кабельметалл» (ФРГ) разработана серия агрегатов «Унивема», отличающихся друг от друга главным образом размерами и потребляемой мощностью. Основные характеристики этих агрегатов приведены в табл. 11.8. (В наименовании агрегата числитель обозначает максимальный диаметр заготовки кабеля, а знаменатель — максимальный наружный диаметр оболочки перед ее гофрированием, мм.) Наибольшее распространение получили агрегаты 70/81.

Требования, предъявляемые к лентам, используемым для производства оболочек (в особенности стальных и медных), весьма высоки как в отношении их химического состава, так и в отношении качества и чистоты поверхности. До установки в сварочный агрегат ленту, поступающую от заводов-поставщиков в бухтах длинами до 500—1000 м, перематывают на металлические барабаны и сваривают встык (для увеличения длины одного конца до 2000 м). Эта операция производится на специальном станке. Кромки ленты свариваются под углом примерно  $10^\circ$ . После перемотки и сварки лента шириной 300 мм наматывается на барабаны диаметром 1200 мм и поступает на отдающее устройство сварочного агрегата. Отдающее устройство пинольного типа обеспечивает постоянное натяжение ленты при ее входе в агрегат.

Тщательная предварительная очистка ленты перед сваркой, так же как и высокое качество поверхности самой ленты, являются обязательными условиями получения надежного шва. Очистка и обезжиривание поверхности ленты производятся при ее прохождении через очистной бак и обработке органическим растворителем (например, трихлорэтиленом). Очистка поверхности

## Основные параметры сварочных агрегатов „Унивема“

Параметр	Тип агрегата					
	5	20/25	70/81	70/81*	178/200	350
Диаметр заготовки кабеля, мм	1,2—5	3—20	15—70	15—70	45—178	70—315
Диаметр оболочки до гофрирования, мм	Без гофрирования	6—25	20—81	20—81	50—200	80—350
Толщина свариваемой стальной оболочки, мм	0,1—0,2	0,15—0,3	0,3—0,6	0,3—0,8	0,5—1,2	0,5—2,0
Толщина свариваемой алюминиевой оболочки, мм	0,2—0,4	0,15—0,8	0,3—2,0	0,3—2,3	0,5—2,0	0,28—4,0
Паспортная скорость сварки алюминиевых оболочек, м/мин	5—40	4—25	3—15	3—30	2,0—8,0	2,0—8,0
Паспортная скорость сварки стальных оболочек, м/мин	—	10—14	8—12	10—15	—	—
Габариты агрегата без приемных и отдающих устройств, м	2,4×1,65	9,4×1,5	13,5×1,8	14,2×1,8	21×2,3	38,8×3,95
Потребляемая мощность, кВт·А	20	27	68	140	120	250

\* С трех электродной головкой,

алюминиевой ленты является обязательной, стальной—желательной. Лента при очистке, проходя внутри устройства по системе направляющих роликов, делает несколько петель. Очистка ленты производится жидкостным (обрызгивание поверхности ленты из форсунок) или паровым (в баке создается необходимая концентрация паров растворителя) методом. Растворитель токсичен, а с водой и алюминием образует горючую смесь. Для обеспечения необходимой безопасности и санитарных условий работы обслуживающего персонала очистное устройство снабжается вентиляцией. Система циркуляции растворителя закрытая.

Очищенная лента поступает в механизм обрезки кромок, в котором в зависимости от диаметра кабеля от нее отрезаются кромки различной ширины, но не менее 3 мм с каждой стороны. Механизм обрезки кромок включает в себя систему торможения (две параллельные металлические пластины с полиэтиленовым покрытием, расстояние между которыми регулируется винтовыми зажимами), направляющие, неприводные выпрямляющие ленту ролики и дисковые ножницы. Кроме того, в состав механизма для обрезки кромок входят две вращающиеся приемные катушки для намотки обрезанных кромок и приспособление для смачивания спиртом кромок обрезанной алюминиевой ленты. Расстояние между дисковыми ножами и глубину их посадки регулируют соответственно червячным механизмом и установочным винтом. Необходимость спиртовой смазки дисковых ножей при резке алюминия связана с возможностью его налипания на поверхность ножей. Подача спирта осуществляется насосом, подача которого связана с частотой вращения ножей. Таким образом, количество подаваемого спирта зависит от скорости резки ленты.

Формующий механизм смонтирован на съемной плите. Агрегат снабжен комплектами формующих устройств двух типов: для алюминиевой, стальной и медной лент. Оба типа комплектов формующих устройств поставляются с интервалом по диаметру формируемой трубы в 2 мм. Более точная подгонка размеров оболочек кабеля производится за счет изменения размеров выходных калибров и глубины гофра.

Качество сварного шва сильно зависит от точности формовки. Так как процесс протекает со сравнительно



небольшой скоростью, а в состав агрегата входит тяговое устройство и, как правило, оболочки имеют малую толщину, то формующий механизм выполнен неприводным (роликовым, фильерным или комбинированным).

Алюминиевую оболочку последовательно формуют в три ступени: в цилиндрических направляющих, конусе и кольце, изготовленных из полиэтилена высокой плотности.

Стальную оболочку также формуют в неприводном устройстве, но не в три, а в пять ступеней. Первые три ступени выполнены в виде стальных валков. Четвертая ступень механизма, формующего оболочку диаметром до 26 мм, — это стальной конус, а для оболочек большего диаметра стальные валки. Последняя, пятая ступень формующего механизма — кольцо из твердосплавного металла. Заготовка кабеля вводится в формуемую оболочку перед последней ступенью формовки. Формующее кольцо может немного наклоняться вдоль оси движения оболочки. За счет этого в узких пределах можно изменять диаметр несваренной трубы и, следовательно, расстояние между кромками ленты. Общий вид формующего механизма машины «Унивема» показан на рис. 11.19.

Сварочная горелка расположена примерно в середине агрегата, и ее положение легко регулируется. Горелка содержит держатель с электродом, устройство для регулирования их положения, водяной охладитель держателя и токоподводящего провода, направляющий палец, размещаемый между кромками свариваемой оболочки и служащий для предотвращения смещения точки сварки в сторону при колебаниях свариваемых кромок и направления горелки на точку сварки. Кроме того, в состав сварочного устройства входит приспособление для подачи защитного газа и проекционный микроскоп, позволяющий наблюдать расстояние между электродом и кромками и положение дуги относительно кромок. Светящаяся точка сварочной зоны проектируется на экран, на котором во время работы агрегата можно видеть дугу и взаимное расположение концов электродов и свариваемых кромок.

Сварочные электроды вольфрамо-ториевые. Стальные оболочки сваривают в атмосфере аргона, алюминиевые — в смеси аргона и гелия. Расход газа составляет примерно 2 л/мин, т. е. газовый баллон емкостью 10 м<sup>3</sup> обеспечивает сварку примерно 60 км оболочки.

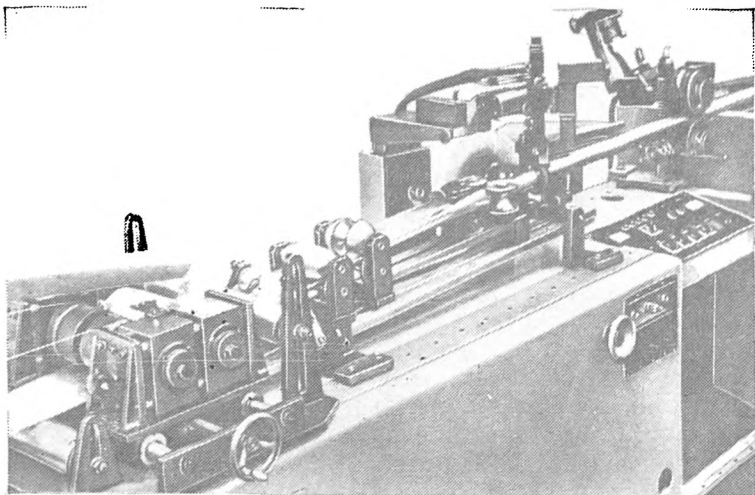


Рис. 11.19. Общий вид формирующего механизма машины «Унивема».

Защитный газ направляется в зону сварки соплом. Атмосфера защитного газа охватывает не только область сварочной дуги, но и участок расплавленного металла (для предотвращения его окисления в тот короткий период, когда он еще имеет высокую температуру). Для увеличения скорости сварки в последнее время начали выпускать агрегаты, снабженные трехэлектродной сварочной головкой, называемой «полиарк». Характеристики агрегата «Унивема» с такой головкой приведены в табл. 11.8.

В связи с тем, что шов может иметь различные дефекты, визуально обнаруживаемые оператором, в агрегате после сварочной головки располагается устройство для ремонта мелких дефектов. Ремонт дефектного места производят пайкой.

Непосредственно после сварки оболочка имеет овальное сечение. Делается это для того, чтобы обеспечить более точное схождение кромок (они обрезаются перпендикулярно поверхности ленты). Для придания сваренной оболочке круглой формы перед входом в тяговое устройство оболочка проходит через два калибрующих валка. Вторая пара таких же валков расположена меж-

ду тяговым и гофрирующим устройствами. В случае необходимости с помощью этих валков можно также редуцировать оболочку на 0,1—0,2 мм.

Тяговое устройство протягивает оболочку и ленту через весь агрегат, включая гофрирующее устройство. Кроме того, тяговое устройство гасит крутящий момент, который прикладывается к оболочке в гофрирующем устройстве. Тяговое устройство состоит из двух бесконечных роликовых цепей, к которым присоединены четыре или более пар разрезных башмаков, каждый из которых имеет две вставки в виде полуколец из эластичного материала, внутренние размеры которых точно соответствуют диаметру гладкой трубы. Давление башмаков с полукольцом на трубу может регулироваться. Башмаки и кольца при достижении горизонтального положения сводятся, сжимают оболочку и тянут ее за собой. Сведение половин башмаков обеспечивается направляющими штангами, а разведение — разводящим клином. Привод тягового устройства осуществляется двигателем постоянного тока, обеспечивающим возможность плавного регулирования скорости движения кабеля. Регулирование скорости не связано автоматически с регулированием сварочного тока, и оба эти процесса (сварка и протягивание) регулируются отдельно.

Перед входом в гофрирующую головку оболочка проходит через специальную камеру, в которой она охлаждается и смазывается эмульсией. Конструкция гофрирующего устройства и процесс гофрирования рассматриваются в § 11.9.

Наряду с гофрированными оболочками агрегаты допускают изготовление кабелей с гладкими (негофрированными) алюминиевыми оболочками. В этом случае вместо гофрирующего устройства устанавливают калибрующее устройство валкового типа (для кабелей диаметром до 17 мм) или волокни (для кабелей диаметром более 17 мм). Четыре калибрующие валка устанавливают в четырехкулачковом регулируемом патроне, монтируемом вместе с замкнутой системой подачи и охлаждения эмульсии. Редуцирующую волоку также снабжают системой подачи эмульсии.

Отдающее устройство для заготовки и приемное для готового кабеля имеют обычные конструкции и не содержат каких-либо элементов, заслуживающих специального рассмотрения. Приемное устройство допуска-

ет установку барабанов с диаметром щеки до 2,5 м.

Практически достигнутые скорости сварки алюминиевой оболочки диаметром 20 мм и толщиной 1,0 мм составляют 8 м/мин, стальной ленты толщиной 0,4 мм—6 м/мин. Сменная производительность агрегата «Унивема» 70/81 — 1,5—2,0 км. Скорость и производительность лимитируются допустимой скоростью сварки, которая снижается по мере увеличения толщины оболочки. В последнее время за счет установки на агрегате не одного, а нескольких сварочных электродов скорость сварки удалось повысить на 40—60%, а оболочек малых диаметров даже в 2 раза. Контроль процесса осуществляется визуально и путем проверки герметичности готовой оболочки внутренним избыточным газовым давлением.

Оборудование и процесс сварки кабельных оболочек в защитном газе нашли широкое применение на кабельных заводах в ряде стран.

Достоинствами способа дуговой сварки оболочек в защитном газе являются:

возможность его применения для изготовления оболочек из различных металлов — алюминия, меди и сплавов этих металлов, а также низкоуглеродистой и нержавеющей стали;

возможность изготовления оболочек различного диаметра — от 3 до 350 мм, с малой (0,2 мм) и большой (4,0 мм) толщиной стенок;

возможность изготовления кабеля большими длинами (до 3000 м) так как факторами, ограничивающими длину, являются не сам технологический процесс, а длина заготовки кабеля и ленты, а также емкость приемных барабанов;

шов достаточно прочен; благодаря защите расплавленного металла от окисления инертной средой качество шва получается высоким; негерметичные места в оболочке в основном образуются за счет дефектов самой ленты, а не сварного шва;

ввиду ограниченного объема нагреваемого металла теплота легко рассеивается в оболочке и поэтому изоляция кабеля не подвержена большим тепловым воздействиям;

процесс сварки может быть совмещен в одном агрегате с процессом гофрирования оболочек, так как скорости сварки и гофрирования близки друг к другу.

В то же время процесс дуговой сварки кабельных оболочек в среде защитного газа не лишен ряда существенных недостатков. Основными из них являются малая производительность, необходимость применения ленты высокого качества, предварительной подготовки поверхности этой ленты и обрезки ее кромок, различие микроструктуры ленты и сварного соединения.

### 11.8.2. Высокочастотная сварка оболочек

Способ высокочастотной сварки кабельных оболочек лишен упомянутых недостатков. Принцип изготовления кабельных оболочек при нагреве свариваемых кромок токами высокой частоты показан на рис. 11.20.

Сформованная из ленты заготовка с кромками, имеющими щель V-образной формы, поступает в сварочное устройство, где кромки разогреваются и в оплавленном состоянии сжимаются валками. Энергия подводится к кромкам заготовки с помощью контактов (рис. 11.20,а) или кольцевидного индуктора (рис. 11.20,б).

Ток может проходить либо по периметру заготовки, либо по одной из кромок до места ее соприкосновения с другой и далее по второй кромке. Отношение токов, протекающих по этим путям, обратно пропорционально их электрическому сопротивлению.

При высокой частоте подводимой электрической энергии сопротивление пути по периметру оболочки в

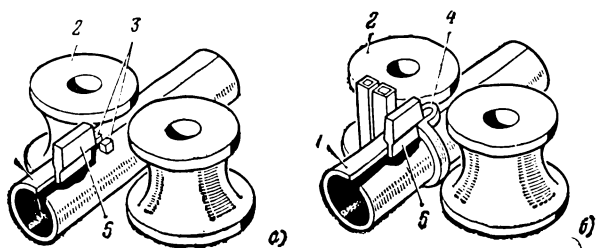


Рис. 11.20. Способы подвода высокочастотной энергии к свариваемой оболочке.

а — контактный; б — индукционный; 1 — свариваемая оболочка; 2 — обжимные сварочные валки; 3 — контакты; 4 — кольцевой индуктор; 5 — направляющий нож.

десятки и сотни раз больше, чем сопротивление пути по поверхности щели, образованной кромками. В результате большая часть тока течет по кромкам заготовки, интенсивно их нагревает и оплавляет. При последующем сжатии валками оплавленные кромки свариваются. При этом часть оплавленного металла выдавливается наружу и внутрь оболочки, образуя так называемый грат. При повышении частоты тока глубина проникновения тока в кромки и объем нагреваемого металла уменьшаются. Схема агрегата для высокочастотной сварки оболочек приведена на рис. 11.21.

В отличие от других машин для наложения алюминиевых и стальных оболочек агрегат для высокочастотной сварки предназначен для эксплуатации в непрерывном режиме работы, что в сочетании с большой скоростью сварки обеспечивает весьма высокую производительность процесса. Для непрерывного изготовления оболочки в агрегате предусмотрены сдвоенные отдающие устройства заготовки кабеля и ленты, два приемных устройства для кабеля, накопитель для ленты и стыкосварочная машина.

Лента с размотывателя с помощью подающих роликов поступает в накопитель. Следящая система обеспечивает сначала заполнение, а затем автоматическое поддержание полной емкости накопителя. По окончании рулона концы ленты свариваются на стыкосварочной машине. Процесс сварки оболочки кабеля при этом не прекращается, так как во время сварки рулонов из накопителя выбирается запас ленты, который после окончания сварки автоматически восполняется. Отдельные длины заготовки кабеля соединяются также на ходу.

Летучие ножницы, расположенные перед приемными устройствами, разрезают сваренную оболочку в месте связки заготовки кабеля. Все перезаправочные операции (сварка рулонов ленты, связка концов кабеля, заправка на приемный барабан) осуществляются без остановок агрегата.

Механизм, формирующий ленту в трубную заготовку, у агрегата высокочастотной сварки состоит из приспособления для очистки поверхности полосовой заготовки войлочными протирками, рабочих клетей, вертикальных роликовых проводок, формирующего конуса, редукторов, трансмиссионных валов и электродвигателя. Рабочие клетки являются основным узлом формирующего устройст-

ва. В рабочих клетях верхние валки под действием пружин поджаты к нижним с усилием, необходимым для пластического изгиба заготовки ленты, а также ее поступательного движения в рабочей линии агрегата, и свободно подвижны в осевом направлении (для самоустановки валков непосредственно по изгибаемой заготовке). Наружные поверхности формирующих роликов в сопряжении друг с другом образуют соответствующий калибр. Формирующие ролики приводятся во вращение с помощью редукторов и трансмиссионных валков, соединяющих клетки с электродвигателем.

Лента, поступающая в рабочую клетку, изгибается в валках под действием упругой силы пружины. Усилие пружины регулируется нажимной гайкой. В случае продольной и поперечной разнотолщинности полосовой заготовки, а также радиальных и осевых биений валков верхний валок рабочей клетки во время работы перемещается соответственно в вертикальном и горизонтальном направлениях, при этом давление в калибре существенно не меняется и остается доста-

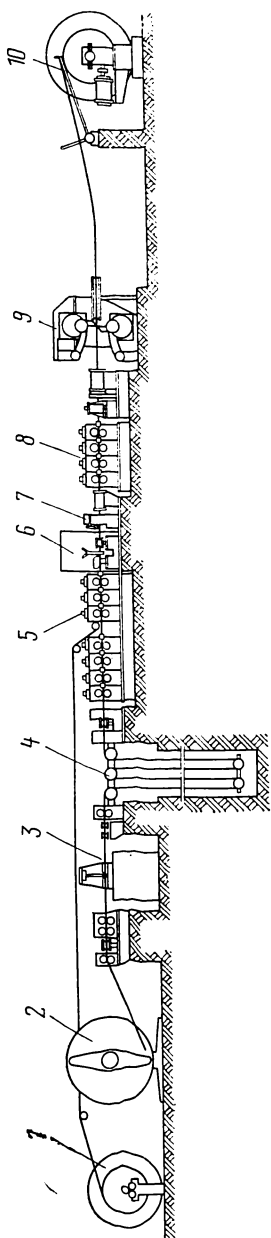


Рис. 11.21. Схема агрегата для высокочастотной сварки оболочек.

1 — отдающее устройство для кабеля; 2 — отдающее устройство для ленты; 3 — стыкосварочная машина; 4 — накопитель; 5 — формирующее устройство; 6 — сварочное устройство; 7 — гратосниматель; 8 — профилирующее (калибрующее) или гофрирующее устройство; 9 — летучие ножницы; 10 — приемное устройство.

точным лишь для пластического изгиба заготовки.

Для обеспечения высокого качества сварного шва необходимо точно состыковать свариваемые кромки. Учитывая их малую толщину, следует обеспечить возможность настройки сжимающих валков как по высоте, так и относительно оси сварки. Конструкция сварочного узла предусматривает сжатие оплавленных кромок в сварочных валках за счет поворота рычагов, на которых они установлены, под действием пружины. Усилие пружины регулируется гайкой. Радиальное биение валков, колебания размеров заготовки и т. п. не оказывают существенного влияния на осадку металла в очаге сварки, поскольку сварочное давление поддерживается на заданном уровне пружиной.

Необходимым условием для высокочастотной сварки тонкостенных оболочек, обладающих малой жесткостью поперечного сечения, является высокая точность установки валков сварочного устройства относительно оси прокатки. Несоосность калибра валков в горизонтальной плоскости с цилиндрической заготовкой может явиться причиной изгиба и закручивания заготовки, что вредно влияет на процесс сварки, так как даже при небольшом изгибе и закручивании тонкостенной заготовки на ее кромках образуются складки и стык кромок уходит под один из валков, нарушая процесс сварки.

Сварочное устройство представляет собой шарнирный четырехзвенник, в котором рычаги могут поворачиваться в подшипниках вокруг стоек, параллельно смещающая валки в горизонтальной плоскости в любую сторону. В вертикальной плоскости валки устанавливаются относительно друг друга и настраиваются по высоте с помощью регулировочных винтов, перемещающих рычаги с валками по стойкам. Валки связаны между собой синхронизирующими шестернями.

Металл, выдавливаемый наружу и внутрь оболочки при сжатии ее расплавленных кромок, образует наружный и внутренний грат. Наружный грат снимается с помощью резца, внутренний, имеющий обычно высоту менее 0,5 мм, остается внутри оболочки.

В том случае, если оболочка должна иметь не гладкую, а гофрированную поверхность, вместо гладких калибрующих валков устанавливают валки с зубчатой поверхностью (см. § 11.9).



Индукционный подвод энергии к кромкам заготовки отличается простотой конструкции системы токоподводов, удобством обслуживания, надежностью в работе, что важно для непрерывного изготовления кабельных оболочек. При индукционном подводе энергии отпадает необходимость в применении контактов, срок службы которых невелик. Благодаря отсутствию трения между индуктором и свариваемой оболочкой не возникает опасность появления царапин, прожога или деформации оболочки, что особенно важно при сварке тонкостенных оболочек.

Высокочастотная сварка чувствительна к изменению напряжения на зажимах сварочного трансформатора, так как объем нагреваемого металла мал. Изменение напряжения приводит не только к неравномерному нагреву металла во времени, но и к образованию некачественного сварного соединения. Кроме того, изменение толщины, ширины и механических свойств ленты, биение формовочных и сварочных валков также приводят к нестабильности процесса сварки.

Для улучшения качества и стабильности сварки, увеличения производительности агрегата и облегчения обслуживания агрегат снабжен системой автоматического регулирования процесса сварки (САР). Для автоматического регулирования сварки на некотором расстоянии от очага расплавления помещена головка фотопирометрического датчика. Мощность, подводимая к свариваемой оболочке, изменяется в зависимости от изменения суммарного потока излучения путем сравнения сигнала фотопирометрического датчика с эталоном и воздействия их разности через канал усиления на мощность, отдаваемую генератором в оболочку. Автоматическое регулирование значительно облегчает труд оператора, улучшает качество сварного соединения, позволяет получить качественную сварку оболочек малого диаметра, повысить скорость сварки.

Особенностями процесса высокочастотной сварки стальных оболочек по сравнению с алюминиевыми являются необходимость: обеспечения повышенной точности схода кромок (из-за уменьшения толщины формуемой ленты от 1,0 до 0,4 мм) и в связи с этим изменения конструкции сварочного узла; изменения номинальной частоты сварочного тока (1760 вместо 440 кГц); совмещения процессов сварки и скоростного гофрирования

оболочки, так как гладкая стальная оболочка не обладает достаточной гибкостью.

Сменный технологический инструмент агрегатов высокочастотной сварки изготавливают из стали марки Х12М по ГОСТ 5950-73 или из стали других марок, обеспечивающих такую же износостойкость инструмента. Сварочные валки изготавливают из латуни или бронзы, направляющие ножи — из минералокерамики.

Основные технические характеристики отечественных агрегатов для высокочастотной сварки кабельных оболочек приведены в табл. 11.9.

Основными преимуществами высокочастотной сварки сравнительно со сваркой в среде защитного газа явля-

Таблица 11.9

**Основные технические характеристики агрегатов для высокочастотной сварки кабельных оболочек**

Характеристики	Оболочки	
	алюминиевые	стальные
Материал ленты	Стандартная лента нормальной точности и качества поверхности АД0 или АД1 по ГОСТ 4784-74	Низкоуглеродистая холоднокатаная 08КП по ГОСТ 503-81
Толщина ленты, мм	0,8—2,0	0,3—0,5
Подготовка поверхности	Протирка фетром	
Диаметр оболочки, мм	10—35	10—35
Скорость наложения оболочки, м/мин:		
максимальная	120	90
минимальная	20	15
Сменная производительность, км:		
максимальная	35	25
средняя	25	15
Длина готового изделия	Не ограничена, зависит от размеров приемного барабана	
Время перехода с размера на размер, ч	2	16
Частота сварочного тока, кГц	440	1760
Габариты (с приемными и отдающими устройствами), м:		
длина	26	30
ширина	8	8

ются ее высокая производительность, возможность применения обычных сортов алюминиевой и стальной лент без специальной подготовки их поверхности и кромок. Качество сварного соединения при высокочастотной сварке выше, чем при дуговой сварке в защитном газе, что связано с большей степенью автоматизации и механизации процесса и однородностью микроструктуры основного металла и сварного соединения, достигнуть которые при дуговой сварке в защитном газе принципиально невозможно. Кроме того, при высокочастотной сварке тепловые воздействия на изоляцию кабеля значительно меньше, чем при дуговой сварке, что связано с большей скоростью и меньшим объемом нагреваемого и оплавленного металла.

В то же время при высокочастотной сварке неизбежно образование грата, а время, затрачиваемое на смену принудительно вращающегося формирующего инструмента, необходимую для перехода от наложения оболочки одного размера к другому, во много раз больше, чем при дуговой сварке, которая, как это было указано выше, из-за малых скоростей сварки допускает применение неприводного формирующего инструмента.

Сравнение достоинств и недостатков описанных способов сварки показывает, что применение высокочастотной сварки особенно целесообразно при крупносерийном производстве ограниченного числа маркоразмеров кабеля. В табл. 11.10 в качестве примера приведено сравнение основных показателей двух способов сварки стальных оболочек. Там же приведены некоторые показатели процесса пайки стальных оболочек.

Основным видом брака при наложении сварных оболочек является их негерметичность, возникающая вследствие дефектов самой ленты (закаты, расслоения и наличие посторонних включений) или недостатков сварного соединения. На стабильность процесса сварки в защитном газе большое влияние оказывает химический состав ленты и качество очистки ее поверхности. Негерметичность сварного шва может возникнуть из-за попадания в него лент поясной изоляции кабеля или других посторонних предметов. Кроме того, дефекты сварного шва могут быть следствием неправильного ведения процессов формовки и сварки оболочки: несовпадения свариваемых кромок, пережога или недостаточной степени сварки.

Сравнение способов изготовления стальных гофрированных оболочек ( $d=20$  мм)

Показатель	Высокочастотная сварка	Дуговая сварка в защитном газе	Пайка
Лента, применяемая для изготовления оболочек	Обычная низкоуглеродистая марки 08КП по ГОСТ 503-71	Специальная низкоуглеродистая, содержащая не более 0,04% углерода	Специальная низкоуглеродистая, луженая
Подготовка поверхности ленты	Протирка	Химическое обезжиривание и промывка	Протирка
Подготовка кромок ленты	Не требуется	Обрезка кромок, отходы 10%	Не требуется
Скорость наложения оболочки, м/мин	90	15	20
Степень автоматизации процесса	Полная	Отсутствует	Отсутствует
Основные свойства шва: микроструктура высота грата, мм	Однородная Не более 0,5	Неоднородная Отсутствует	Неоднородная Отсутствует
Количество дефектов на 1 км	0,05	0,2—0,3	Не проверяется
Время перехода с одного размера оболочки на другой, ч	16	1,0—1,5	Данные отсутствуют
Сменная производительность, км	15—20	1,5—2,0	2,5—3,0

Так же как и для пресованных оболочек, в том случае, если дефектов в оболочке немного (обычно не более двух-трех на строительной длине кабеля) и площадь дефектных мест невелика, оболочка может быть запаяна. В тех случаях, когда пайка невозможна, оболочка должна быть с кабеля снята, поясная изоляция в случае необходимости отремонтирована и оболочка наложена повторно.

Кроме описанных выше способов наложения оболочек в зарубежной кабельной технике в различное время применялись, а частично применяются и теперь еще три способа наложения алюминиевых и стальных оболочек: затяжка заготовки кабеля в предварительно изготовленные трубы с их последующей осадкой, холодная сварка алюминиевых оболочек из лент и пайка оболочек. В отечественной практике эти методы распространения не получили и в настоящей книге не рассматриваются.

## 11.9. ГОФРИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК

Гладкие оболочки из алюминия и особенно стали не обладают гибкостью, необходимой для их намотки и размотки с обычных кабельных барабанов при ручной и механизированной прокладке. Например, кабели в гладких алюминиевых оболочках диаметром более 40—50 мм могут наматываться на барабаны с шейкой, имеющей диаметр не менее 2,5—3,0 м, а в стальных — 5—6 м. Для существенного повышения гибкости алюминиевых и стальных оболочек их гофрируют. Сущность процесса гофрирования заключается в нанесении по заранее заданному закону вмятин на гладкую цилиндрическую оболочку. При этом во избежание повреждения изоляции кабеля внутренний диаметр гладкой оболочки выбирается большим, чем наружный диаметр заготовки кабеля, на двойную глубину вмятин (гофров). В результате оболочка приобретает профиль, у которого обжатые участки чередуются с выпуклыми. При гофрировании выпуклые участки практически не нагартовываются, поэтому при изгибах оболочки в основном деформируются эти участки, которые растягиваются и распрямляются.

В зависимости от профиля гофра (в продольном сечении) известны четыре его разновидности (рис. 11.22):

треугольный —  $T$ , трапециевидный или плосковершинный —  $П$ , гармониевидный —  $Г$  и синусоидальный —  $С$ . В зависимости от способа гофрирования теоретически любой из этих гофров может быть либо кольцевым —  $К$ , либо винтовым (спиральным) —  $В$ . При этом кольцевой и винтовой типы гофров различаются в зависимости от расположения плоскости симметрии гофра по отношению к оси оболочки. Так, если плоскость симметрии гофра перпендикулярна оси оболочки, то гофр кольце-

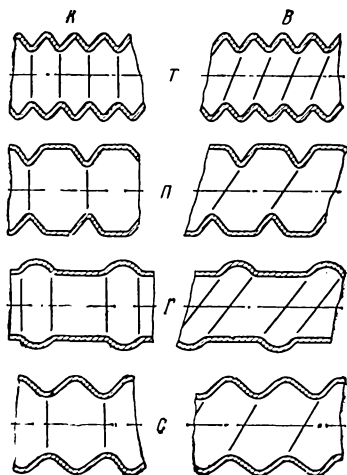


Рис. 11.22. Профили и типы гофров.

$К$  — кольцевые гофры;  $В$  — винтовые гофры;  $Т$  — треугольный;  $П$  — плосковершинный;  $Г$  — гармониевидный;  $С$  — синусоидальный.

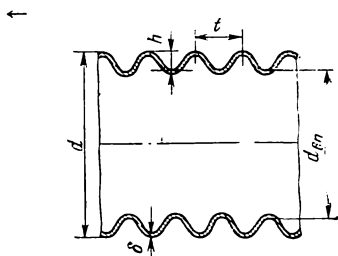


Рис. 11.23. Параметры синусоидального гофра.

вой, а если указанные плоскость и ось образуют угол меньше или больше  $90^\circ$ , то гофр винтовой. В настоящее время при гофрировании кабельных оболочек применяют гофры типов ВС — винтовой синусоидальный, ВГ — винтовой гармониевидный и КС — кольцевой синусоидальный. Некоторое распространение имеет и гофр типа ВП — винтовой плосковершинный (трапециевидный). Наибольшее распространение получил синусоидальный гофр. Для гофрирования стальных оболочек практически применяется только такой гофр в двух исполнениях — винтовом и кольцевом. При этом надо иметь в виду, что синусоидальным этот гофр называется условно, так как радиусы выпуклостей и впадин гофра во многих случаях не равны между собой.

Механические характеристики кабельных оболочек и кабеля в целом существенно зависят от параметров

гофрирования оболочки. Наиболее важными механическими характеристиками оболочки являются ее гибкость, прочность на сдавливание и допустимое продольное растягивающее усилие. В качестве примера рассмотрим стальную оболочку с гофрами синусоидальной формы. Основными параметрами синусоидального гофрированного элемента являются толщина его стенки  $\delta$ , шаг гофрирования  $t$  и высота гофра  $h$  (рис. 11.23). В некоторых случаях вместо понятия высоты гофра пользуются понятием степени гофрирования, которая численно равна отношению диаметра оболочки по ее выступам к диаметру по впадинам.

Гибкость оболочки характеризуется тремя величинами: изгибоустойчивостью, т. е. способностью без потери формы выдерживать многократные перегибы вокруг цилиндра определенного диаметра; минимальным радиусом изгиба оболочки, т. е. таким минимальным радиусом, при изгибе вокруг которого оболочка не теряет своей формы; изгибающим моментом, т. е. усилием, которое надо приложить к оболочке, чтобы ее согнуть

Для проверки влияния глубины гофрирования на изгибоустойчивость кабельной оболочки, ее прочность на сдавливание и допустимое растягивающее усилие три образца стальной гофрированной оболочки толщиной 0,3 мм одинакового внутреннего диаметра (20 мм), отличающиеся друг от друга степенью гофрирования, т. е. высотой гофра, подвергались изгибам вокруг цилиндра диаметром 600 мм. Шаг гофрирования всех образцов был одинаков и составлял 7 мм. После каждого двустороннего изгиба герметичность оболочки проверялась путем приложения внутреннего избыточного давления газа. Кроме того, на таких же образцах кабеля с различной степенью гофрирования оболочки проверялись прочность на сжатие (на участке длиной 100 мм до уменьшения диаметра на 0,5 мм) и относительное удлинение при приложении усилия в 1000 Н. Результаты этих испытаний приведены в табл. 11.11. Из данных табл. 11.11 видно, что по мере увеличения степени (глубины) гофрирования механические характеристики оболочки существенно улучшаются. В то же время при увеличении глубины гофров увеличивается наружный диаметр оболочки и, следовательно, расход металла, необходимого для изготовления оболочки, расход мате-

риалов защитных покровов, масса и стоимость кабеля. Поэтому обычно степень гофрирования стальных оболочек выбирается равной 1,12—1,25; такая степень гофрирования обеспечивает необходимую гибкость стальной оболочки, но не приводит к существенному удорожанию кабеля.

Таблица 11.11

Зависимость механических характеристик стальной оболочки от степени ее гофрирования

Степень гофрирования ( $d/d_{вп}$ )	Параметры гофра			Двусторонние изгибы		Допустимая сила сжатия, Н	Относительное удлинение при растяжении, %
	Наружный диаметр по выступам гофров $d$ , мм	Наружный диаметр по впадинам гофров $d_{вп}$ , мм	Высота гофров, мм	Отношение диаметра цилиндра к наружному диаметру оболочки	Количество		
Малая (1,05)	22	21	0,5	27,5	1	500	0,2
Средняя (1,12)	23,5	21	1,25	25,5	75	4570	7,0
Большая (1,25)	26	21	2,5	23	100	10 010	9,0

Гофрированные оболочки не только обладают большой гибкостью и хорошо противостоят сжимающим усилиям, но и как следствие этого отлично сохраняют свою форму при изгибах, что весьма важно в процессе прокладки, а в некоторых случаях и при эксплуатации кабелей. В то время как гладкие свинцовые и алюминиевые оболочки, как и любые гладкие трубы, склонны к образованию трещин при изгибах, гофрированные алюминиевые и особенно стальные оболочки хорошо сохраняют свое круглое сечение. Это преимущество стальных гофрированных оболочек особенно важно для кабелей связи, которые при деформациях оболочки легко сдавливаются и повреждаются.

Традиционными устройствами для гофрирования кабельных оболочек до последнего времени являются вращающиеся патроны, в осевых отверстиях которых проходит кабель. В патроне эксцентрично устанавливают гофрирующий инструмент (кольцо, ролики, пружин-



ну), который при своем вращении вокруг оси поступательно движущегося кабеля выдавливает на гладкой оболочке спиральные гофры (рис. 11.24). Параметры гофра зависят от соотношения линейной скорости кабеля и частоты вращения инструмента, а также от профиля гофрирующего инструмента и его установки. Например, если гофрирующий инструмент представляет собой эксцентрично расположенное кольцо, то он на-

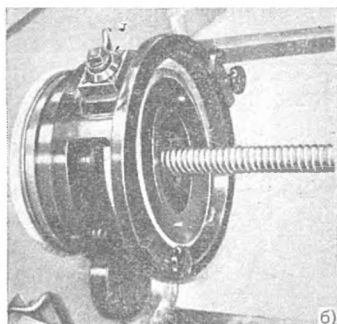
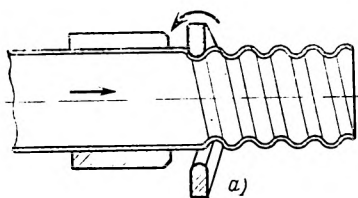


Рис. 11.24. Гофрированные вращающимся кольцом.

**а** — принцип гофрирования; **б** — гофрирующая головка машины «Унивема».

катывает на оболочке спиральный гофр. В том случае, если инструмент имеет форму спирали, шаг которой подобран соответствующим образом, вместо спирального гофра можно получить кольцевой. Глубина гофрирования зависит от эксцентриситета гофрирующего инструмента относительно оси оболочки.

Так как при гофрировании с помощью инструмента, вращающегося вокруг оси оболочки, она закручивается, то во избежание этого закручивания перед входом в гофрирующее устройство и при выходе из него располагаются специальные зажимные устройства в виде резиновых роликов или ремней. Так, на машинах «Унивема» закрутке оболочки препятствует расположенное перед гофрирующим устройством тяговое цанговое устройство, эластичные полузажимы которого плотно сжимают кабель и не дают ему закручиваться вокруг своей оси.

В некоторых случаях (при гофрировании с помощью обкатки оболочки роликами) во избежание закручивания оболочки гофрирующие ролики получают враща-

тельное движение с помощью планетарной передачи. Перед входом в гофрирующую головку оболочка проходит через специальную камеру, в которой она охлаждается и смазывается эмульсией.

Гофрирующие устройства такого типа нашли широкое применение при производстве различных кабелей. Они, например, применяются не только в сочетании со сварочными агрегатами, но и прессами для наложения алюминиевых оболочек. Естественно, что гофрирующие устройства прессов (например, прессов фирмы «Шлеман») конструктивно отличаются от описанного выше, однако принцип действия их одинаков: гофрирующий инструмент вращается вокруг поступательно движущейся оболочки кабеля. Такой принцип гофрирования прост и позволяет в случае необходимости быстро менять параметры гофра. В то же время этому способу гофрирования присущ ряд недостатков. Один из них мы уже отмечали, — это закручивание оболочки вокруг своей оси. Однако главным недостатком этого способа является его малая производительность и невозможность совмещения в одном агрегате двух процессов — сварки (при скорости, превышающей 30 м/мин) и гофрирования.

Действительно, максимально допустимая в промышленных условиях частота вращения гофрирующего инструмента в настоящее время не более 3000 об/мин, так как при больших частотах вращения и усилиях, необходимых для нанесения на оболочку гофров, инструмент быстро изнашивается, а удержать оболочку от закручивания вокруг оси весьма трудно. Такая частота вращения инструмента при шаге гофрирования 7—10 мм позволяет получить линейную скорость 20—30 м/мин. Эта скорость гофрирования достаточна для машин «Унивема», в которых сварка оболочки происходит примерно с такой же скоростью, и непригодна для процесса высокочастотной сварки, протекающего со значительно большей скоростью.

Поэтому для агрегатов высокочастотной сварки стальных оболочек, работающих при скорости 40, 60 м/мин и более, в целях создания возможности совмещения в одном агрегате двух процессов — сварки и гофрирования — применяется другой способ гофрирования. При этом способе (рис. 11.25) оболочка после сварки последовательно проходит через

несколько калибров, каждый из которых образован тремя зубчатыми валками. Каждая последующая группа валков углубляет кольцевые вмятины, образованные предыдущими. Такой способ позволяет гофрировать оболочки с практически неограниченной скоростью, исключает закручивание оболочки вокруг оси и тем самым необходимость применения удерживающих устройств, делает излишним применение специальных тянущих устройств, так как при гофрировании оболочки одновременно производится ее протягивание через сварочный

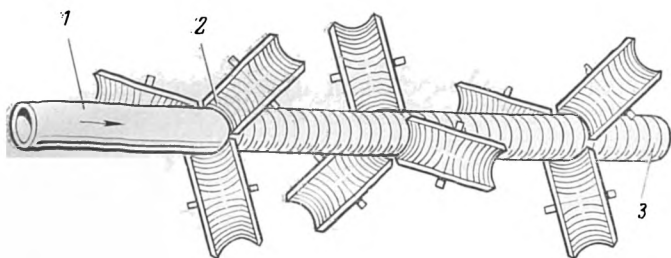


Рис. 11.25. Гофрирование прокаткой через зубчатые валки.  
1 — гладкая оболочка 2 — зубчатые ролики; 3 — гофрированная оболочка.

агрегат. Описанный способ гофрирования носит название способа непрерывной продольной прокатки в профилированных валках. Для обеспечения необходимой высоты гофров и отсутствия ребристости оболочку последовательно прокатывают не менее чем через пять-шесть валковых зубчатых калибров, каждый из которых повернут относительно предыдущего на  $60^\circ$ .

Зубья валков каждого калибра сходятся в общей диаметральной плоскости, обеспечивая при прокатке образование на поверхности оболочки кольцевых гофров. При этом зубья валков каждого последующего калибра должны точно попадать в канавку, образовавшуюся после прохождения оболочки через предыдущий калибр, что достигается применением группового привода всех валков. Гофрирующее устройство состоит из нескольких рабочих клеток, установленных на общей раме, редуктора и электродвигателя.

В зависимости от диаметра кабеля на станину гофрирующего устройства устанавливаются рабочие кле-

ти, калибры которых предназначены для нанесения на оболочку гофров с требуемыми параметрами. Во время перехода с одного размера кабеля на другой комплект рабочих клеток заменяется новым, заранее собранным и подготовленным на стенде. Во время работы гофрирующего устройства вращение от электродвигателя передается через шестеренную клетку и редукторы к зубчатым валкам, которые захватывают и прокатывают оболочку, образуя на ее поверхности кольцевидные канавки. Описанное гофрирующее устройство является универсальным, так как при замене зубчатых валков на гладкие может работать как обычное калибровочное или тянущее устройство. Для смазки инструмента и оболочки при гофрировании путем продольной прокатки используется веретенное масло, которым оболочка должна непрерывно поливаться. Удаление излишков смазки с поверхности оболочки после ее гофрирования осуществляют обдувом воздухом давлением 300—500 кПа. Гофрирующий инструмент изготавливают из стали Х12М с последующей закалкой.

К достоинствам описанного способа гофрирования в первую очередь относится его высокая производительность, так как практически этот способ гофрирования каких-либо скоростных ограничений не имеет. В то же время метод кольцевого гофрирования путем продольной прокатки в профилированных валках имеет ряд недостатков и в первую очередь сложность перехода с размера на размер и наладки агрегата, известную сложность конструкции и способа изготовления гофрирующего инструмента и т. д.

## *Глава двенадцатая*

# **НАЛОЖЕНИЕ ОБОЛОЧЕК И ШЛАНГОВ ИЗ ПЛАСТМАСС И РЕЗИНЫ**

## **12.1. НАЛОЖЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ОБОЛОЧЕК И ШЛАНГОВ НА ЭКСТРУЗИОННЫХ АГРЕГАТАХ**

Наложение полиэтиленовых оболочек на кабели и провода различного назначения, а также полиэтиленовых защитных шлангов поверх металлических оболочек кабелей производится на экструзионных агрегатах по

**Температурные режимы экструдеров при наложении  
полиэтиленовой и поливинилхлоридной оболочек**

Материал оболочки или защитного шланга	Температура, °С				
	Цилиндр по зонам			Головка	Матрица
	1-я	2-я	3-я		
Полиэтилен низкой плотности	110—130	130—150	140—160	150—170	160—180
Полиэтилен высокой плотности	180—200	200—220	220—240	240—260	250—270
Поливинилхлоридный пластикат	110—130	130—150	140—180	150—170	160—180

режимам, близким к режимам наложения полиэтиленовой изоляции. Различие заключается в том, что в связи с большими диаметрами заготовок, на которые надо накладывать оболочки, применяются более мощные экструдеры, тяговые устройства и другие узлы агрегата. Другое отличие заключается в том, что наложение оболочек или шлангов чаще всего производят без обжатия, свободно, что обеспечивается соответствующим расположением в головке экструдера формирующего инструмента (см. рис. 5.27, б, в).

Таблица 12.2

**Размеры формирующего инструмента при наложении  
полиэтиленовой оболочки или шланга (рис. 12.2 и 12.3)**  
 $[\alpha=30\div 60^\circ. \beta=\alpha+(5\div 10^\circ)]$ 

Диаметр заготовки $d$ , мм	Внутренний диаметр дорна $d_d$ , мм, не более	Наружный диаметр дорна $D_d$ , мм	Диаметр матрицы $D_M$ , мм	Длина цилиндрической части матрицы $L_M$ , мм	Длина цилиндрической части дорна $L$ , мм
Без обжатия: до 10	$d+0,8$	$d_d+1,5$	$D_d+(2,0\div 2,2)\delta^*$	$1,00 D_M$	$L_M+5$
10—20	$d+1,0$	$d_d+2,5$	$D_d+(2,0\div 2,2)\delta$	$0,75 D_M$	$L_M+5$
свыше 20	$d+1,5$	$d_d+3,0$	$D_d+(2,0\div 2,2)\delta$	$0,50 D_M$	$L_M+5$
С обжатием: до 10	$d+0,8$	$d_d+0,8$	$D_d+2,0\delta$	$1,00 D_M$	—
10—20	$d+1,0$	$d_d+1,0$	$D_d+2,0\delta$	$0,75 D_M$	—
свыше 20	$d+1,5$	$d_d+1,5$	$D_d+2,0\delta$	$0,50 D_M$	—

$\delta$ —радиальная толщина оболочки (шланга), мм.

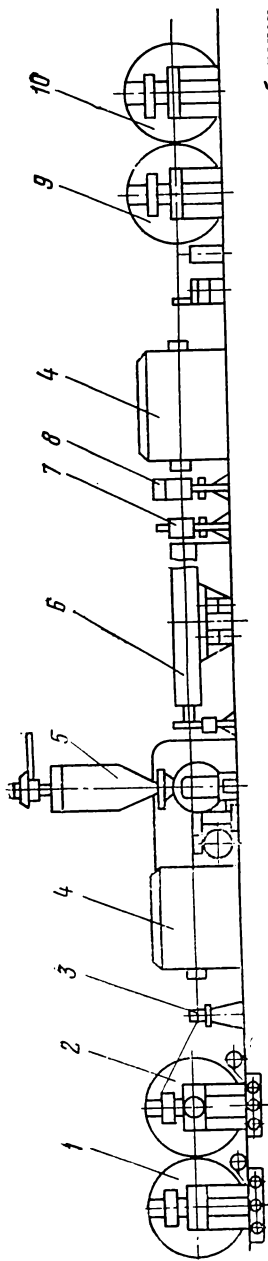


Рис. 12.1. Экструзионная линия для наложения полиэтиленовых или поливинилхлоридных изоляции или оболочек (тип МЕ-160).

1, 2 — отдающее устройство; 3 — противное устройство; 4 — толкающий и тяговый механизм; 5 — экструдер; 6 — устройство для охлаждения; 7 — измеритель емкости; 8 — измеритель электрической прочности; 9, 10 — приемные устройства.

Наложение полиэтиленовой оболочки или полиэтиленового шланга производится на экструзионных агрегатах с червяком диаметром от 60 до 250 мм. Специализация и типы рекомендуемых экструзионных агрегатов приведены в табл. 5.2. Общая схема экструзионного агрегата для наложения оболочек или шлангов приведена на рис. 12.1. Основные характеристики экструзионных агрегатов и температурные режимы экструдеров приведены в табл. 5.2, 5.3 и 12.1.

Технологический инструмент (дорн и матрица) подвергают термообработке и хромированию. Допускается применение дорнов и матриц с нехромированной поверхностью. Геометрические размеры формующего инструмента, зависящие от диаметра заготовки, на которую накладывается оболочка или шланг, приведены в табл. 12.2 и на рис. 12.2, 12.3. Дорн, изображенный на рис. 12.2,б, используется в случае наложения слоя полиэтилена на заготовку с обжатием, что применяется, в частности, когда полиэтиленовый шланг накладывается на металлическую оболочку кабелей. Размеры и температурный режим охлаждающих ванн были приведены в табл. 6.2. Если накладываемая оболочка или

шланг имеет небольшую радиальную толщину (не более 1,5 мм), то допускается, начиная со 2-й зоны, охлаждать их водопроводной водой при условии отсутствия у готовой оболочки трещин и вмятин, выходящих за пределы допусков.

Экструзионный агрегат (см. рис. 12.1) состоит из отдающего, тормозного (натяжного) устройства, уст-

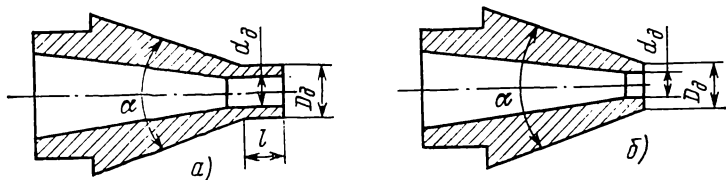


Рис. 12.2. Дорны для наложения оболочек.

а — без обжатия; б — с обжатием.

ройства для подогрева, экструдера, охлаждающей ванны, прибора для измерения диаметра, обдувочного устройства, счетчика длины, тягового устройства, компенсатора и приемного устройства. Устройство для подогрева выполняется в виде трубы с электронагревателями, проходя через которую заготовка нагревается перед входом в головку экструдера, где и накладывается оболочка или шланг.

Подача гранулированного полиэтилена в загрузочный бункер экструдеров с червяком диаметром 90 мм и более должна быть механизирована. Во избежание образования газовых включений в оболочке или шланге полиэтилен перед загрузкой может быть подвергнут сушке горячим воздухом при 60—70°C в печах периодического действия в течение не менее 4 ч. Сушка может также производиться в бункерном сушильном устройстве при температуре, не превышающей 100°C, в течение не менее 40 мин. Обдувка поверхности оболочки или шланга для удаления влаги после выхода из охлаждающего устройства производится сжатым воздухом давлением не менее 0,2 МПа.

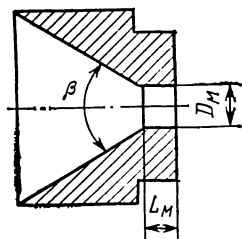


Рис. 12.3. Матрица для наложения оболочек из полиэтилена или поливинилхлоридного пластика.

Съем барабана с готовым кабелем с приемного устройства производится с помощью электротельфера, гидравлического или электрического устройства.

При запуске и в процессе работы периодически производится визуальная проверка качества поверхности оболочки и ее эксцентricности. Проверяются также толщина и наружный диаметр оболочки.

## 12.2. НАЛОЖЕНИЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ОБОЛОЧЕК И ШЛАНГОВ НА ЭКСТРУЗИОННЫХ АГРЕГАТАХ

Процесс наложения оболочки или шланга из поливинилхлоридного пластика мало чем отличается от аналогичного технологического процесса для полиэтилена (см. § 12.1).

Различия наблюдаются в некоторых характеристиках и температурных режимах экструдеров, а также в том, что поливинилхлоридная оболочка накладывается, как правило, без обжатия и после выхода из головки экструдера охлаждается водопроводной водой.

Перед использованием в экструдерах пластикат выдерживают в течение не менее чем 12 ч в производственном помещении. Допускается использование пластика без выдержки в цехе, если он подвергся сушке в печах или сушильных шкафах периодического действия горячим воздухом при температуре 60—70°C в течение не менее 4 ч или в бункерном сушильном устройстве при 90—100°C в течение не менее 40 мин.

Общая схема экструзионного агрегата, применяемого для наложения поливинилхлоридных оболочек или шлангов, аналогична той, которая применяется для наложения полиэтиленовых оболочек (см. рис. 12.1).

Для наложения поливинилхлоридных оболочек или шлангов применяются экструзионные агрегаты с червяком диаметром от 45 до 250 мм, типы которых, а также основные характеристики приведены в табл. 12.3.

Формующий технологический инструмент (дорн и матрицы) подвергается термообработке (твердость не ниже 50 по Роквеллу) и хромируется. Дорн и матрица имеют маркировку с указанием внутреннего диаметра. Геометрические размеры инструмента устанавливаются в зависимости от диаметра заготовки  $d$  и практически не отличаются от размеров, используемых для наложения полиэтиленовых оболочек или шланга (см.



**Специализация экструзионных агрегатов для наложения поливинилхлоридных оболочек**

Техническая характеристика	Марка экструзионного агрегата				
	МЕ-1-45 (ГДР)	НТ-601 (ВНР), МЕ-1-60 (ГДР)	МЕ-1-90 (ГДР)	МЕ-1-120 (ГДР)	МЕ-160 (ГДР)
Диаметр червяка, мм	45	60	90	120	160
Диаметр по оболочке, мм	До 3,0	До 4,0	До 10,0	До 30,0	До 60,0
Частота вращения червяка, об/мин	14—142	15—150	6—120	10—100	10—90
Максимальная линейная скорость, м/мин	390	700	600	200	70
Производительность, кг/ч	45	90	200	300	500

табл. 12.2 и рис. 12.2, 12.3). Дорн для наложения поливинилхлоридных оболочек и шлангов имеет вид изображенных на рис 12.2 и 12.3. Температурные режимы экструдеров при наложении поливинилхлоридных оболочек были приведены в табл. 12.1. Охлаждение поливинилхлоридных оболочек производится проточной водопроводной водой с температурой  $15 \pm 10^\circ\text{C}$ .

### 12.3. ОСОБЕННОСТИ НАЛОЖЕНИЯ АЛЮМОПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ОБОЛОЧЕК

Алюмополиэтиленовая оболочка состоит из алюминиевой ленты толщиной 0,15 мм, на которую нанесен слой полиэтилена. При производстве кабелей связи ленту накладывают продольно под полиэтиленовую оболочку, причем при наложении обеспечивается перекрытие кромок ленты. При наложении полиэтиленовой оболочки поверх алюмополиэтиленовой ленты методом экструзии происходит их сваривание. Между оболочкой и лентой исключается пространство, в которое могла бы проникнуть вода при повреждении оболочки.

Алюмополиэтиленовую ленту изготавливают на специальном агрегате. На алюминиевую фольгу толщиной 0,15 мм, перематываемую с рулона, устанавливаемого в

отдатчике, через обогреваемую плиту, наносят слой полиэтилена толщиной 0,20 мм, выпрессованный через щелевую матрицу экструдера с червяком диаметром 60 мм. Затем алюминиевая фольга с нанесенным полиэтиленовым покрытием проходит через охлаждающий барабан, поступает в механизм резки на ленты заданной ширины и принимается на ролики диаметром 400 мм.

При наложении полиэтиленовой оболочки ролик алюмополиэтиленовой ленты устанавливают на крошштейне перед входом полуфабриката кабеля в головку экструдера и пропускают продольно через формирующий механизм. Вместе с кабелем лента поступает в головку экструдера. Отверстие дорна равно диаметру кабеля поверх алюмополиэтиленовой ленты. Матрицу применяют такую же, как и при наложении обычной полиэтиленовой оболочки. В головке экструдера поддерживают также аналогичный температурный режим. После наложения полиэтиленовой оболочки кабель охлаждают в ванне со ступенчатым изменением температуры воды.

## **12.4. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ ОБОЛОЧЕК**

Для наложения резиновых оболочек на различные кабели применяются главным образом кабельные линии непрерывной вулканизации (ЛКНВ), совмещающие операции наложения и вулканизации резиновой оболочки. Это оборудование позволило заменить устаревшую, ранее применявшуюся технологию раздельного наложения резиновой оболочки на экструзионных агрегатах с последующей вулканизацией ее в горизонтальных или вертикальных вулканизационных котлах периодического действия. При совмещенном наложении и вулканизации резиновой оболочки, как и в случае совмещенного наложения и вулканизации резиновой изоляции с большой радиальной толщиной, возникает проблема исключения деформации еще несвулканизовавшегося слоя резины за счет касания стенок длинной вулканизационной камеры из-за провеса кабеля со значительной массой на единицу длины.

В процессе совершенствования технологии наложения резиновых изоляции и оболочки именно это обстоя-

Тельство сдерживало создание и внедрение кабельных линий совмещенных процессов наложения оболочки и ее вулканизации. Однако создание наклонных (НЛКНВ) и вертикальных (ВЛКНВ) линий (см. рис. 6.13) непрерывной вулканизации и совершенствование технологии позволило решить эту проблему. В настоящее время созданы и внедрены ЛКНВ разных типов, позволяющие осуществлять не только наложение и вулканизацию резиновых оболочек кабелей значительного диаметра, но и осуществлять совместное, за один проход двух- и трехслойное наложение изоляции, одной или двух оболочек, экранов из электропроводящих резин и герметизирующих заполнений в различных сочетаниях. Для этого применяются ЛКНВ с V- и T-образными экструдерами (см. рис. 5.23), на которых производится совместное наложение резиновой изоляции и экрана из электропроводящей резины на жилы шахтных кабелей; резиновой изоляции и двух экранов из электропроводящей резины на жилы кабелей, используемых для питания мощных передвижных агрегатов в горных разработках и земляных работах; резиновой изоляции и оболочки кабелей для нефтяной и газовой промышленности; резиновых изоляции и оболочки большой группы силовых кабелей и проводов для распределения электрической энергии; резиновой оболочки и герметизирующего заполнения герметизированных судовых кабелей.

Основные характеристики V- и T-образных линий непрерывной вулканизации, применяемых для совместного наложения резиновой изоляции, оболочек, экранов и герметизирующих заполнений, приведены в табл. 12.4.

Для подогрева заготовки, поступающей в головку экструдера, используются нагреватели индукционного или другого типа, обеспечивающие автоматическое поддержание заданной температуры.

Питание экструдеров с червяком, имеющим отношение длины рабочей части к диаметру, равное 10:1 и более, осуществляется холодной резиновой смесью в виде гранул или лент, которые получают в грануляторе или на вальцах. Применяют также подогревательные вальцы с валками длиной 810, 1500, 1530, 2100, 2130 мм. При подогреве смеси и введении в нее вулканизирующих материалов на вальцах температура ее в начале цикла не должна быть более 50°C, а в конце — не более 70°C.

Характеристики основных типов линий непрерывной вулканизации для двух- и трехслойного наложения резиновых покрытий

Наименование характеристик	АНВ-60×60	АНВ-90×90	ЛКНВ-90×90	АНВ-150×90	ЛКНВ-160×90×90
Отношение длины рабочей части червяка к его диаметру	10:1	10:1	10:1	15:1	10:1; 12:1; 10:1
Тип червяка	Двухзаходный с уменьшающейся глубиной нарезки (компрессия 1,7—2,0)				
Частота вращения червяка, об/мин	—	80	90	70	50, 80, 80
Расположение вулканизационной камеры	Горизонтальное	Наклонное	Горизонтальное	Вертикальное	Наклонное
Длина вулканизационной камеры, м	100	50	72—102	40	65
Давление пара, МПа, не более	2,5	1,6	2	2	2
Длина охлаждающей камеры, м	10	13	10	15	25
Давление воды в камере, МПа	—	1,6	1	2	2
Линейная скорость, м/мин	20—250	0,2—80	20—200	0,5—25	1,5—50
Наружный диаметр изоляции или оболочки, мм	2—15	4—30	4—20	25—150	13—70

Продолжительность операций следующая: загрузка и подогревание смеси 5—6 мин, введение вулканизирующих материалов 5—6 мин, срезание смеси с вальцов в виде лент и рулонов 4—5 мин. При подогревании смесей на

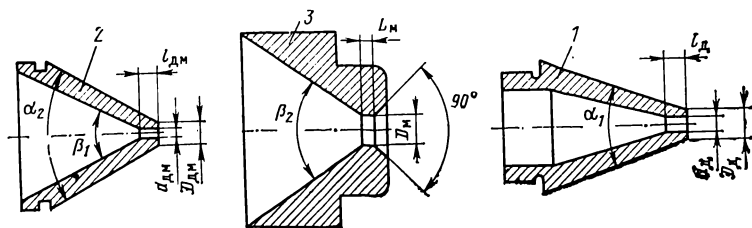


Рис. 12.4. Формующий инструмент для двухслойного наложения резиновых изоляции и экрана или изоляции и оболочки.  
1 — дорн; 2 — дорн-матрица; 3 — матрица.

основе хлоропренового каучука (наирита) температура не должна превышать  $40^\circ\text{C}$  в начале цикла и  $50^\circ\text{C}$  в конце.

Формующий инструмент — дорн, дорн-матрица, матрица (рис. 12.4—12.7) — изготавливается из материалов, обеспечивающих твердость поверхности не менее 60 еди-

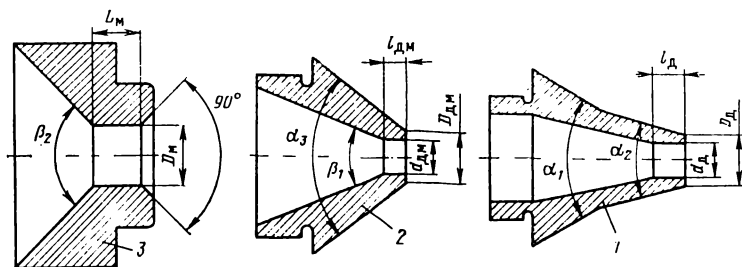


Рис. 12.5. Формующий инструмент для двухслойного наложения резиновых герметизирующих заполнений и оболочки.  
1 — дорн; 2 — дорн-матрица; 3 — матрица.

ниц по Роквеллу. Параметр шероховатости рабочих поверхностей инструмента  $R_a$  должен быть не более  $0,50$  мкм. Формующий инструмент, используемый для наложения электропроводящих и шланговых резин, изготавливается со вставками из твердых сплавов марок ВК-4, ВК-6, ВК-8. Твердость поверхностей должна быть

не менее  $8\frac{7}{8}$  единиц по Роквеллу. Расстояние между дорном и дорном-матрицей устанавливается равным толщине изоляции или герметизирующего слоя или двух слоев экрана. Расстояние между дорн-матрицей и матрицей устанавливают равным толщине оболочки или

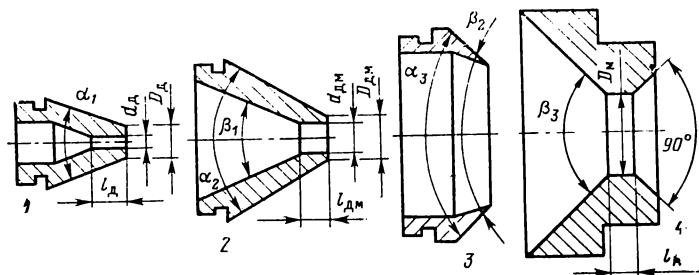


Рис. 12.6. Формующий инструмент для трехслойного наложения резиновых изоляции и экранов.

1 — дорн; 2 — дорн-матрица; 3 — конус (дорн-матрица 2); 4 — матрица.

двух слоев экрана или толщине изоляции. Расстояние между матрицей и конусом устанавливается равным толщине экрана.

Конструкции формующего инструмента и рекомендации по его выбору приведены в табл. 12.5 и 12.6 и на рис. 12.4—12.6.

Температурные режимы экструдеров приведены в табл. 6.16.

Вулканизация изоляции жил и оболочек кабелей производится в среде насыщенного пара. Рабочее давление (а следовательно, и температура) пара в вулканиза-

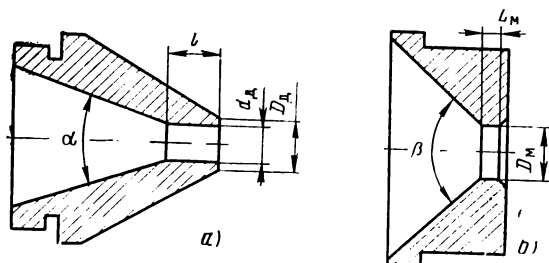


Рис. 12.7. Дорн (а) и матрица (б), используемые при наложении резиновой оболочки на кабели с изолированными полиэтиленовыми жилами.

Характеристики формирующего инструмента для двухслойного наложения изоляции и экрана или изоляции и оболочки (рис. 12.4 и 12.5)

Номинальный диаметр жилы, $\zeta d$ , мм	Дорн				Дорн-матрица					Матрица		
	Диаметр отверстия $d_d$ , мм	Длина цилиндрической части $l_d$ , мм	Угол конуса $\alpha_1$	Наружный диаметр торцевой части $D_d$ , мм	Диаметр отверстия $d_{дм}$ , мм	Длина формирующей части шейки $l_{дм}$ , мм	Угол конуса		Наружный диаметр торцевой части $D_{дм}$ , мм	Диаметр отверстия $D_m$	Длина формирующей части $l_m$ , мм	Угол конуса $\beta_2$
							внутренний $\beta_1$	наружный $\alpha_2$				
До 2	$1,09 d$	4—6	30—40	$1,02 d_d$		2—3			$1,04 d_{дм}$	$d_H$	3—4	
2—4	$1,05 d$	4—6	30—40	$1,04 d_d$		2—3			$1,04 d_{дм}$	$d_H$	3—4	
4—8	$1,03 d$	6—8	40—50	$1,06 d_d$	$d_B$	4—5	$\alpha_1 + 10^\circ$	$\beta_1 + (10 \div \div 16^\circ)$	$1,06 d_{дм}$	$0,99 d_H$	5—6	$\alpha_2 + (12 \div \div 16^\circ)$
8—12	$1,02 d$	8—10	50—60	$1,08 d_d$		5—7			$1,08 d_{дм}$	$0,99 d_H$	6—8	
12—20	$1,02 d$	10—12	50—60	$1,10 d_d$		8—10			$1,10 d_{дм}$	$0,99 d_H$	8—10	
Свыше 20	$1,02 d$	12—14	50—60	$1,10 d_d$		$0,5 d_B$			$1,10 d_{дм}$	$0,99 d_H$	$0,5 d_H$	

Примечание.  $d_B$ —диаметр по внутреннему слою (изоляция);  $d_H$ —диаметр по наружному слою (экран или оболочка).

Характеристики формующего инструмента для трехслойного наложения изоляции и экранов (рис. 12.6)

Номинальный диаметр жилы $d$ , мм	Дорн 1				Дорн-матрица 2					Конус (дорн-матрица 3) Углы конуса		Матрица 4		
	Диаметр отверстия $d_d'$ , мм	Длина цилиндрической части $l_d'$ , мм	Угол конуса $\alpha_1$	Наружный диаметр торцевой части $D_d'$ , мм	Диаметр отверстия $d_{дм}'$ , мм	Длина формующей части $l_{дм}'$ , мм	Углы конуса		Наружный диаметр торцевой части $D_{дм}$	внутренний $\beta_2$	наружный $\alpha_3$	Диаметр отверстия $D_m'$ , мм	Длина формующей части $l_m'$ , мм	Угол конуса $\beta_3$
							внутренний $\beta_1$	наружный $\alpha_2$						
До 8	$1,03 d$	6—10		$1,06 d_d$					$1,06 d_{дм}$					
8—12	$1,02 d$	8—14		$1,08 d_d$					$1,08 d_{дм}$					
12—16	$1,02 d$	10—16	30—40°	$1,10 d_d$	$d_B$	$(0,7 \div 1,0) d_B$	$\alpha_1 + 10^\circ$	$\beta_1 + (8 \div 10^\circ)$	$1,10 d_{дм}$	$\alpha_2 + 12 \div 13^\circ$	$\beta_2 + 10^\circ$	$0,99 d_H$	10—25	$\alpha_3 + (8 \div 10^\circ)$
16—20	$1,02 d$	10—18		$1,10 d_d$					$1,10 d_{дм}$					
20—30	$1,02 d$	10—20		$1,10 d_d$					$1,10 d_{дм}$					
Свыше 30	$1,02 d$	10—20		$1,08 d_d$					$1,08 d_{дм}$					

Примечание.  $d_B$ —диаметр внутреннего слоя (изоляции);  $d_H$ —диаметр наружного слоя (экрана или оболочки).



ционной камере устанавливается в соответствии с табл. 12.7. Во избежание чрезмерного охлаждения вулканизационной камеры, имеющей большую поверхность теплоотдачи, и большого расхода пара на поддержание нужной температуры камера снабжается паровой рубашкой, в которую пропускается пар того же давления (температуры), что и в самой камере.

Таблица 12.7

**Рабочее давление и температура насыщенного пара в вулканизационной камере линий непрерывной вулканизации при двух- и трехслойном наложении изоляции, оболочки и герметизирующих заполнений**

Тип резины	Давление пара, МПа	Температура, °С
РТИ-1, РТИ-2	1,5—2	200—213
РШ-1, РШ-2	1,5—2	200—213
РШН-1	1,2—3	191—194
РШН-2	1,7—8	206—209
РШМ-2, РШТМ-2, РЭ-2, РЭМ-2	1,9—2	211—213

Если охлаждающая камера отделена от вулканизационной, т. е. имеет промежуточный затвор, то давление охлаждающей воды устанавливается не менее чем 0,78 МПа. Температура охлаждающей воды должна быть не более 25°С. При отсутствии промежуточного затвора давление воды в охлаждающей камере равно давлению пара в вулканизационной камере.

Технологические режимы совмещенных процессов двухслойного наложения резиновой изоляции и экрана или трехслойного наложения изоляции и экранов, изоляции и оболочки, герметизирующего заполнения и оболочки приведены соответственно в табл. 12.8 и 12.9.

Выше рассматривались случаи наложения резиновой оболочки на кабели с резиновой изоляцией. При производстве некоторых типов кабелей предусматривается наложение резиновой оболочки на жилы, изолированные полиэтиленом. Для их производства разработана специальная технология, предусматривающая использование для резиновой оболочки рецептур резиновых смесей, обеспечивающих проведение вулканизации при сравнительно невысоких температурах в вулканизационной ка-

**Режимы технологического процесса совмещенного двухслойного наложения резиновых изоляций и экрана или трехслойного совмещенного наложения изоляции и экранов из электропроводящей резины (давление пара 1,5—1,6 МПа)**

Номинальное сечение жил, мм <sup>2</sup>	Номинальная толщина, мм			Тип линии непрерывной вулканизации	Длина вулканизационной камеры, м	Линейная скорость, м/мин
	экрана по жиле	изоляции	экрана по изоляции			
1,5	—	1,0	0,2—0,7	АНВ60×60, ЛКНВ90×90	75	140—150
2,5	—	1,0	0,2—0,7			115—125
4	—	1,0	0,2—0,7			105—115
4	—	1,6	0,2—0,5			85—95
6	—	1,0	0,2—0,7			80—90
6	—	1,8	0,2—0,5			65—75
10	—	1,8—2,0	0,3—0,5			АНВ90×90, ЛКНВ90×90,
10	0,5—0,8	4,0—5,0	0,6—0,8	28—33		
16	—	2,0—2,2	0,3—0,5	45—50		
16	0,5—0,8	4,0—5,0	0,6—0,8	24—28		
25	—	2,0—2,2	0,3—0,5	42—47		
25	0,5—0,8	4,0—6,0	0,6—0,8	20—24		
35	—	2,0—2,2	0,3—0,5	36—41		
35	0,5—0,8	4,0—6,0	0,6—0,8	18—20		
50	—	2,0—2,2	0,3—0,5	АНВ90×90, ЛКНВ90×90, ЛКНВ160×90×90	65	27—34
50	0,5—0,8	4,0—6,0	0,6—1,0			10—15
70	—	2,0—2,2	0,3—0,5			23—26
70	0,6—1,0	4,0—6,0	0,8—1,0			10—13
95	—	2,0—2,4	0,3—0,5	АНВ90×90; ЛКНВ160×90×90	65	20—22
95	0,6—1,0	4,0—6,0	0,8—1,0			8—10
120	0,8—1,2	4,0—6,0	0,8—1,0			7—8
150	0,8—1,2	4,0—6,0	0,8—1,0			6—7

Примечание. При изолировании жил сечением до 6 мм<sup>2</sup>, скручиваемых в кабель с шагом не более 10 диаметров по общей скрутке, скорости опрессовки во избежание деформации изоляции могут быть снижены на 15—20%.

Таблица 12.9

**Режимы технологического процесса совмещенного наложения изоляции и оболочки на жилы**

Номинальное сечение жилы,	Номинальная толщина, мм		Тип линии непрерывной вулканизации	Длина вулканизационной камеры, м	Линейная скорость, м/мин, для резины	
	изоляции	оболочки			РШМ-2 РШТМ-2	РШ-1
1,5	1,0—3,0	0,5—2,0	АНВ-60×60, ЛКНВ-90×90	75	100—58	100—110 (РШН-2)
2,5	1,0—3,0	2,0—1,5	АНВ-60×60, ЛКНВ-90×90	75	90—46	—
4	1,0—3,0	2,0—1,5	АНВ-60×60, ЛКНВ-90×90	75	80—40	—
6	1,0—3,0	2,0—1,5	АНВ-60×60, ЛКНВ-90×90	75	63—38	—
10	1,2—3,2	2,0—1,5	АНВ-60×60, ЛКНВ-90×90	75	50—29	—
16	1,2—3,2	2,0—3,2	АНВ-90×90, ЛКНВ-90×90	75	45—21	34—17
25	1,4—3,2	2,0—3,0	АНВ-90×90, ЛКНВ-90×90	75	34—20	25—15
35	1,4—3,2	2,5—2,0	АНВ-90×90, ЛКНВ-90×90	75	28—19	22—13
50	1,6—3,4	3,0—2,0	АНВ-90×90, ЛКНВ-90×90, ЛКНВ-160×90×90	65	19—14	15—9
70	1,6—3,4	3,5—2,0	АНВ-90×90, ЛКНВ-90×90, ЛКНВ-160×90×90	65	15—11	11—7
95	1,8—3,4	3,5—2,0	АНВ-90×90, ЛКНВ-160×90×90	65	13—10	10—6
120	1,8—3,4	4,5—1,5	АНВ-90×90, АНВ-160×90×90	65	11—8	9—6
150	2,0—3,6	3,0—2,5	АНВ-90×90, АНВ-150×90, АНВ-160×90×90	65	10—7	7—4
185	3,0—3,6	2,5	АНВ-90×90, АНВ-160×90×90	65	9—6	—
240	3,2—3,8	2,5	АНВ-150×90, АНВ-160×90×90	65	7—5	—
300	3,4—3,8	2,0	АНВ-150×90, АНВ-160×90×90	65	7—5	—

Примечание. Давление пара 1,9—2 МПа для резин РШМ-2, РШТМ-2; 1,5—1,6 МПа для РШ-1; 1,7—1,8 МПа для РШН-2.

мере и за более короткое по сравнению с обычными рецептурами время. Это обеспечивается, в частности, применением специальных ускорителей процесса вулканизации.

## Глава тринадцатая

# НАЛОЖЕНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ И ЗАЩИТНЫХ ОПЛЕТОК

## 13.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОПЛЕТКИ

Оплетка представляет собой покрытие кабелей, проводов или шнуров проволокой или пряжей в двух направлениях, когда пряди проволоки или пряжи одного направления переплетаются с прядями противоположного направления. Наиболее распространена конструкция оплетки, когда две пряди одного направления, перекрыв две пряди противоположного направления, проходят над двумя следующими прядями (рис. 13.1,1). Во

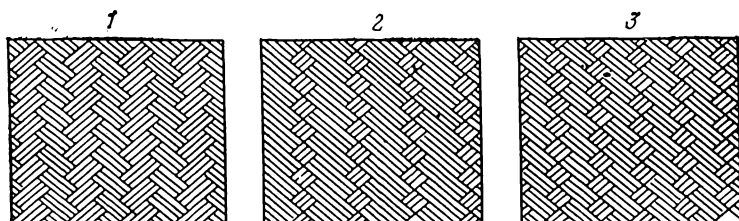


Рис. 13.1. Схема оплетки с различным числом переплетений.

1 — две пряди перекрывают две противоположные пряди; 2 — одна прядь перекрывает три; 3 — одна прядь перекрывает две противоположные пряди.

второй конструкции оплетки (рис. 13.1,2) одна прядь одного направления, перекрыв одну прядь противоположного направления, проходит над двумя прядями противоположного направления. В третьей конструкции оплетки (рис. 13.1,3) одна прядь одного направления, перекрыв одну прядь противоположного направления, проходит под тремя прядями противоположного направления. Схема переплетений в разрезе вдоль пряди из трех нитей изображена на рис. 13.2. Если число проволок или нитей во всех прядях одинаково, то такую оплетку называют симметричной. Оплетку, в которой чис-

ло проволок или нитей в пряди одного направления больше или меньше, чем число проволок или нитей в пряди противоположного направления, или в которой пряди проволок одного направления переплетаются с прядями пряжи другого направления, называются не симметричными. При использовании пряжи двух или более цветов получают цветную оплетку.

Развертывая оплетку на плоскости, получаем прямоугольный треугольник (рис. 13.3) один катет которого равен длине окружности провода  $\pi D$ , а второй катет — шагу оплетки  $h$ . Угол  $\alpha_1$  образуемый катетом и гипотенузой, называют углом оплетки.

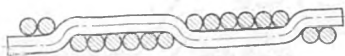


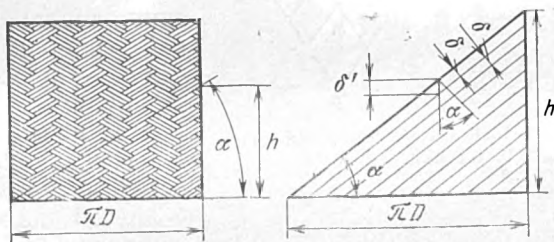
Рис. 13.2. Схема переплетений нитей (рис. 13.1) в разрезе вдоль пряди.

При числе прядей, идущих в одном направлении  $a$ , ширине пряди  $b$ , диаметре проволоки (нити)  $d$ , диаметрах под оплеткой  $D_1$  и поверх оплетки  $D_2$ , среднем диаметре  $D_{\text{ср}} = (D_1 + D_2)/2$  и толщине оплетки  $\Delta$  имеем:

шаг оплетки

$$h = ab / \cos \alpha; \quad (13.1)$$

Рис. 13.3. Схема оплетки.



ширина пряди, наложенной под углом к оси провода,

$$b' = b / \cos \alpha; \quad (13.2)$$

длина пряди одного шага оплетки

$$l = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{\cos \alpha}. \quad (13.3)$$

Из рис. 13.3 следует, что

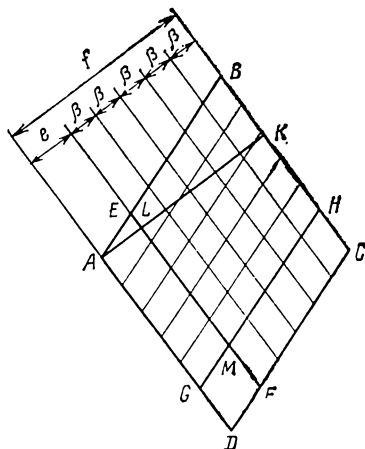
$$\operatorname{tg} \alpha = h / \pi D_{\text{ср}}; \quad (13.4)$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (l / \pi D_{\text{ср}})^2}}. \quad (13.5)$$

Следовательно, шаг оплетки

$$h = ab \sqrt{1 + (l/\pi D_{cp})^2} = \frac{\pi D_{cp}}{\sqrt{\left(\frac{\pi D_{cp}}{ab}\right)^2 - 1}}. \quad (13.6)$$

Оплетка на кабеле (проводе) состоит из большого количества отдельных элементов в форме ромбов, образующихся при пересечении прядей обоих направлений. Один из таких ромбов изображен на рис. 13.4 в увеличенном масштабе. Прядь правого направления изображена площадью  $ABHG$ ;



прядь противоположного направления — площадью  $BCFE$ . Поверхность провода на площади  $BHME$  покрыта двумя слоями пряжи; на площадях  $MHCE$  и  $DEMG$  — одним слоем, а площадь  $DGME$  остается не покрытой. На рис. 13.4 размер  $AK=f$  соответствует ширине полосы, приходящейся на одну прядь; размер  $LK=b$  — ширине пряди и  $AL=k$  — промежутку между прядями.

Рис. 13.4. Схема элемента симметричной оплетки.

При переплетении прядей в оплетке не происходит их плотного прилегания одна к другой из-за прохождения

между ними прядей противоположного направления (рис. 13.2). При практически несжимаемых проволоках расстояние между прядями

$$k = \sqrt{2d^2 - d^2} - d \approx 0,73 d. \quad (13.7)$$

Следует учитывать, что при  $k$ , меньшем  $0,73 d$ , в местах переплетения прядей неизбежно будут утолщения оплетки. При  $k$ , большем  $0,73 d$ , в прядях появятся дополнительные просветы. Расстояние  $k$  не зависит от числа  $n$  проволок (нитей) в пряди. Ширина пряди из несжимаемых проволок

$$b = (n + 0,73) d; \quad b' = (n + 0,73) d / \cos \alpha. \quad (13.8)$$

Крюющая ширина пряди

$$b_k = nd / \cos \alpha. \quad (13.9)$$

Шаг оплетки при максимальной плотности

$$h = \frac{\pi D_{cp}}{\sqrt{\left[\frac{\pi D}{ad(n+0,73)}\right]^2 - 1}} = \frac{\pi (D_1 + 2d)}{\sqrt{\left[\frac{\pi (D_1 + 2d)}{ad(n+0,73)}\right]^2 - 1}}. \quad (13.10)$$

Волокнистые материалы в местах их переплетения в оплетке сплющиваются. Так, при оплетке хлопчатобумажной пряжей  $k=0,6$ , а швейными нитками  $k=0,68$ . Тогда ширина пряди

$$b_{np} = (n + 0,6) d; \quad b'_{np} = \frac{(n + 0,6) d}{\cos \alpha}. \quad (13.11)$$

Обычно заданы только некоторые параметры оплетки. Поэтому для правильного определения режима оплетки кабелей (проводов, шнуров) необходимо предварительно все остальные неизвестные величины определить расчетом. Зависимость между шириной пряди, диаметром провода и шагом определяется уравнением

$$\frac{1}{(ab)^2} = \frac{1}{(\pi D_{cp})^2} + \frac{1}{h^2}. \quad (13.12)$$

Пользуясь этим уравнением, можно определить любую из трех величин, если известны две из них. Чаще всего бывает задан диаметр провода. Шаг оплетки и ширину пряди определяют с учетом соображений, изложенных ниже.

Угол оплетки

$$\alpha = \arctg \frac{\pi D_{cp}}{h}. \quad (13.13)$$

Чем меньше угол оплетки  $\alpha$ , тем красивее оплетка, но соответственно снижается производительность оплеточных машин. С увеличением угла  $\alpha$  оплетка приобретает склонность расходиться при изгибах провода. При больших углах провод может выступать между прядями оплетки даже при сравнительно небольших его изгибах. Поэтому для гибких проводов и для проводов с непропи-

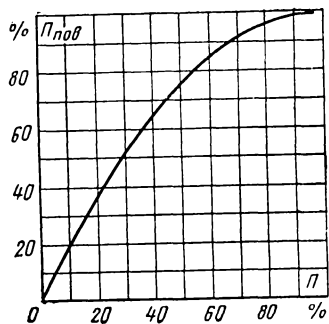


Рис. 13.5. Зависимость поверхностной плотности симметричной оплетки  $P_{\text{пов}}$  от линейной плотности  $P_1$  или  $P_2$ .

тываемой оплеткой принимают меньшие углы, а для негибких и с пропитываемой оплеткой—большие углы. Технически возможно накладывать оплетку с углами от  $20^\circ$  до  $70^\circ$  (при меньших, чем  $20^\circ$ , углах челноки одного направления задевают за челноки противоположного направления; при больших углах место сплетения будет находиться выше калибра). В зависимости от шага (угла оплетки) ширина пряжи будет различной. Для сохранения необходимой плотности оплетки подбирается необходимое количество нитей

в прядке. При очень малом числе нитей прядь может оказаться недостаточно прочной, вследствие чего могут возникать ее обрывы. Практически для нормальных оплеток принимают углы в пределах от  $25^\circ$  до  $65^\circ$ .

Шаг оплетки

$$h = \pi D_{\text{ср}} \operatorname{tg} \alpha. \quad (13.14)$$

Поверхностная плотность оплетки, т. е. отношение поверхности, покрытой прядями, ко всей поверхности провода, выразится отношением

$$P_{\text{пов}} = 1 - \frac{FD \cdot GD}{AD^2} = 1 - \frac{(DC - FG)(AD - AG)}{AD^2}. \quad (13.15)$$

Так как  $DC = AD$ , а  $FC = EB$ , то окончательно получим:

$$P_{\text{пов}} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) = P_1 + P_2 - P_1 P_2, \quad (13.16)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — линейные плотности оплетки.

При параллельных сторонах площади ромбов (см. рис. 13.4) пропорциональны квадратам их сторон:

$$P_{\text{пов}} = 1 - \frac{k^2}{f^2} = 2P_1 - P_2^2. \quad (13.17)$$

Плотность оплетки выражают в процентах или десятичной дробью. Зависимость плотности симметричной оплетки  $P$  от плотности пряжи  $P$  приведена на рис. 13.5.



Плотность оплетки

$$P_{\text{пов}} = 1 - \left[ \frac{0,73}{n + 0,73} \right]^2 \quad (13.18)$$

Плотность симметричной оплетки проволокой в общем виде

$$P_{\text{пов}} = 1 - \frac{k^2}{(nd + k)^2}. \quad (13.19)$$

Плотность несимметричной оплетки в общем виде

$$P_{\text{пов}} = 1 - \frac{k_1 k_2}{(n_1 d + k_1)(n_2 d + k_2)}, \quad (13.20)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — расстояние между прядями одного и противоположного направлений;  $n_1$  и  $n_2$  — число проволок (нитей) в пряди одного и противоположного направлений.

При  $b = nd + k = \frac{b}{a} \cos \alpha$  плотность оплетки

$$P_{\text{пов}} = 1 - \left( 1 - \frac{n' a}{h \cos \alpha} \right) \left( 1 - \frac{n d a}{h \cos \alpha} \right) = 2P - P^2, \quad (13.21)$$

где  $P = nda/h \cos \alpha$ .

Плотность оплетки провода хлопчатобумажной пряжей

$$P_{\text{пов}} = 1 - \left( \frac{0,6}{n + 0,6} \right)^2; \quad (13.22)$$

швейной ниткой

$$P_{\text{пов}} = 1 - \left( \frac{0,68}{n + 0,68} \right)^2 \quad (13.23)$$

Благодаря сжимаемости волокнистых материалов фактически плотность оплетки будет больше, чем вычисленная по приведенным формулам.

Таким образом, при расчете оплетки на кабеле (проводе, шнуре) принимаются ее плотность  $P_{\text{пов}}$ , шаг оплетки  $h$  и угол ее наложения  $\alpha$ , которые должны быть не менее заданных в технической документации. Зная эти величины, производят подсчет количества проволок или нитей в прядке.

Диаметр хлопчатобумажной нити

$$d = 1,08/\sqrt{N}, \quad (13.24)$$

где  $N$  — номер хлопчатобумажной пряжи.

Расчет плотности несимметричной оплетки производят отдельно для прядей одного и противоположного направлений. В этом случае за плотность оплетки принимают отношение поверхности, закрытой одной прядью, к той поверхности провода, которая приходится на долю одной пряди.

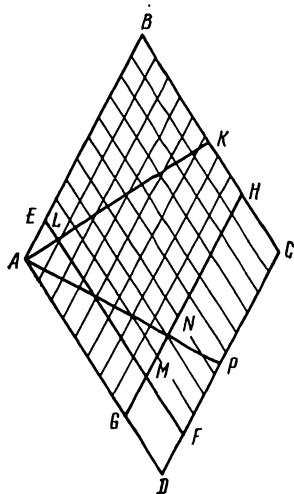


Рис. 13.6. Схема элемента несимметричной оплетки.

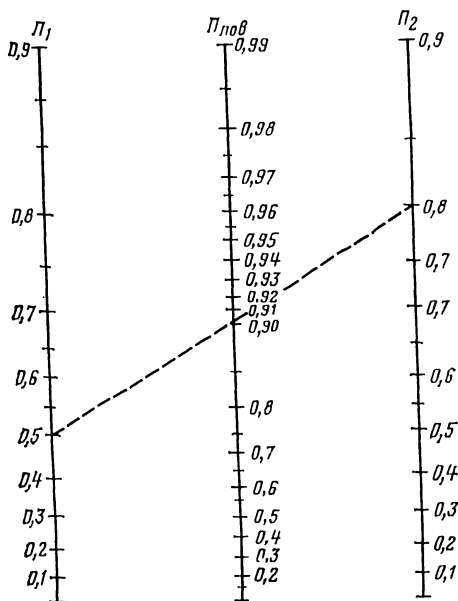


Рис. 13.7. Номограмма для определения плотности несимметричной оплетки.

Схема элемента несимметричной оплетки изображена на рис. 13.6. Плотность прядей правого направления выражают отношением

$$\Pi_1 = \frac{AN}{AP} = \frac{AG}{AD},$$

а прядей левого направления

$$\Pi_2 = \frac{LK}{AK} = \frac{EB}{AB}.$$

По формуле (13.16) можно найти поверхностную плотность несимметричной оплетки, если известны линейные плотности отдельных прядей. Так, если плотность прядей левого направления равна 0,4, а плотность прядей пра-

вого направления 0,8, то поверхностная плотность оплетки будет равна:

$$P_{\text{пов}} = P_1 + P_2 - P_1 P_2 = 0,4 + 0,8 - 0,4 \cdot 0,8 = 0,88.$$

Поверхностная плотность оплетки с достаточной для практики точностью может быть найдена при помощи номограммы с тремя параллельными прямолинейными шкалами (рис. 13.7). На крайних шкалах нанесены плотности прядей правого и левого направлений, а на средней — плотность оплетки. Соединяя линейкой плотности правого и левого направлений, отсчет производят по средней шкале. С помощью этой номограммы можно найти линейную плотность правого направления при заданных линейной плотности левого направления и поверхностной плотности оплетки. В этом случае линейку прикладывают к левой и средней шкалам, а по правой шкале производят отсчет линейной плотности правого направления.

Рекомендуемые плотности и углы наложения экранов из медной проволоки приведены в табл. 13.1, волокнистых материалов — в табл. 13.2, а радиальная толщина оплетки и кроющая ширина нити различных волокнистых материалов — в табл. 13.3.

Зная режим оплетки, можно найти массу материала, требующегося на 1 км оплетки. Для этого предварительно узнают или определяют массу 1 км нити или проволоки, а также длину нити (проволоки), лежащей в оплетке и приходящейся на 1 км провода. Хлопчатобумажную пряжу, шелковые нити или нити из других волокнистых материалов маркируются в тексах (г/км).

При применении стандартных нитей из волокнистых материалов отпадает необходимость в определении массы 1 км нити, так как средняя масса нити равна ее тексту. Если же известны метрический номер пряжи, массу нити можно получить путем деления 1000 г пряжи на ее метрический номер  $N$  [например, пряже № 100/1 соответствует  $1000/100 = 10$  текс (г/км)].

Массу 1 км проволоки находят из справочников или вычисляют по формуле

$$q = \frac{\pi d^2}{4} \gamma, \quad (13.25)$$

где  $d$  — диаметр проволоки, мм;  $\gamma$  — плотность материала (медь 8890, алюминий 2700 и сталь 7800 кг/м<sup>3</sup>).

Таблица 13.1

**Рекомендуемые плотности и углы наложения экранов  
из медной проволоки**

Кабели и провода	Минимальная плотность по ГОСТ и ТУ, %		$P_{пов}$ , %
Радиочастотные кабели	95	46—50°	95—98
Провода высокого напряжения для систем зажигания	90	45—55	90—95
Провода низкого напряжения гибкие	90	30—55	90—95
Провода экранированные для радиостановок	75	30—55	75—85
Кабели и провода связи с резиновой изоляцией, экранированные	75	30—55	75—85
Кабели судовые, экранированные	80	25—55	80—90
Монтажные провода с поливинилхлоридной изоляцией	75	30—45	75
Монтажные провода с пленочной и волокнистой изоляцией	85	40—50	85—90

Таблица 13.2

**Рекомендуемые плотности и углы наложения  
оплеток волокнистыми материалами**

Кабели и провода	Минимальная плотность оплетки по ГОСТ и ТУ, %		$P_{пов}$ , %
Провода с медными и алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией:			
силовые (установочные)	70	30—60°	70—87
силовые для прокладки в трубах	90	25—55	90—98
Провода с медными жилами с резиновой изоляцией:			
осветительные	96	25—55	95—98
гибкие лакированные	90	25—55	90—98
Автотракторные провода низкого напряжения	90	25—55	90—98
Провода с резиновой изоляцией высокого напряжения	90	28—35	90—98
Монтажные провода	80	40—60	80—90
Линейные провода для связи	95	32—55	95—98
Провода для электроподвижного состава	90	25—50	90—98
Кабели и провода с резиновой изоляцией:			
судовые	85	30—45	85—96
другие специализированные	90	25—50	90—98

**Радиальная толщина оплетки и кроющая ширина нити различных волокнистых материалов**

Материал	Текс (№ пряжи)	Толщина оплетки, мм	Кроющая ширина нити, мм
Хлопчатобумажные, суровые нитки	18,5(54/1)	0,25	0,174
То же	25,0(40/1)	0,30	0,215
" "	10×2(100/2)	0,25	0,181
" "	11,8×2(85/2)	0,275	0,196
" "	18,5×2(54/2)	0,35	0,246
" "	29,5×2(34/2)	0,45	0,31
" "	50×3(20/3)	0,70	0,50
Хлопчатобумажные швейные нитки	13,2×3(76,3)	0,37	0,21
То же	21,7×3(46/3)	0,50	0,27
Стекланные нити	6,8×1×2(147/1/2)	0,36	0,18
Асбестовые нити	14,3×2(70/2)	1,0	0,543
Льняные нитки	41,7×6(24/6)	1,1	0,865
То же	83,4×3(12/3)	1,1	0,865
Шелковые нитки	2,6(391)	0,07	0,08
То же	1,9(529)	0,06	0,076
" "	1,2(818)	0,05	0,062

Соотношение между длиной нити, лежащей в оплетке, и длиной провода определяется отношением длины нити  $l$ , приходящейся на 1 оборот, и длиной шага, зависящего от угла оплетки:

$$l = \frac{h}{\sin \alpha} = \sqrt{(\pi D)^2 + h^2} \quad (13.26)$$

Окончательную массу 1 км оплетки находят по формуле

$$Q = 2anq \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (13.27)$$

где  $a$  — половина числа челноков (катушек, бобин);  $q$  — масса 1 км проволоки или нити, кг;  $n$  — число нитей или проволоки в пряди.

Для выбора экономически обоснованного номера пряжи, синтетических или искусственных волокон рекомендуется производить проверку сравнительной стоимости 1 км провода.

## 13.2. ОПЛЕТОЧНЫЕ МАШИНЫ

Оплеточные машины, применяемые для наложения экран̄а и легких защитных покровов, по кинематическим признакам делятся на два типа: челночные (коклюшечные) и карусельные (катушечные).

**Челночные машины** (рис. 13.8) состоят из металлического стола с двумя волнообразными, переплетающимися-

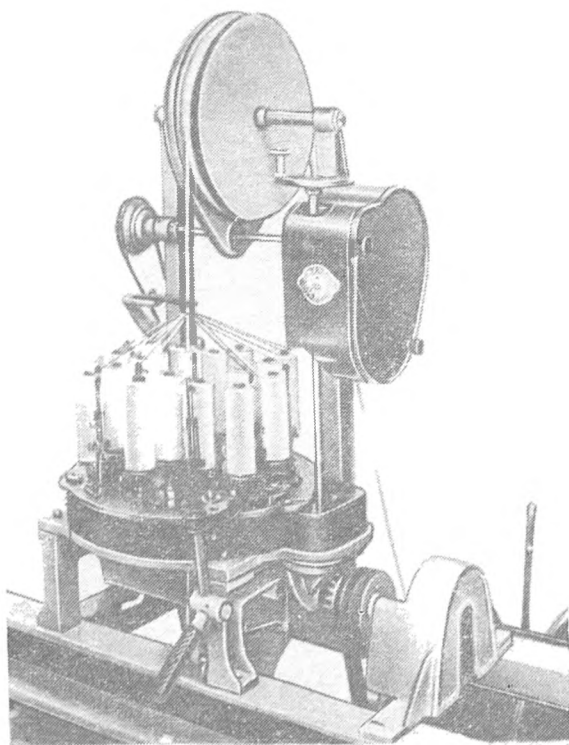


Рис. 13.8. Оплеточная машина челночного типа.

ся замкнутыми прорезями шириной 6—10 мм, образующими фигуры в виде цифры 8. В прорезях стола двигаются челноки, на которые падают деревянные или пластмассовые шпули с проволокой или пряжей. Под столом машины размещены шестерни с основанием, на котором

ется. В случае схода или обрыва пряди колодка с нижним крючком опускается в нижнее положение и своим выступом касается выключающего машину стопора. Чем меньше масса челнока, тем лучше динамические условия работы машины. Скорость челночных машин составляет 50—70 об/мин.

Челноки машины для оплетки медной или оцинкованной стальной проволокой (рис. 13.13) состоят из рамы с основанием для размещения в прорези стола машины. В нижней части рамы на горизонтальной оси устанавли-

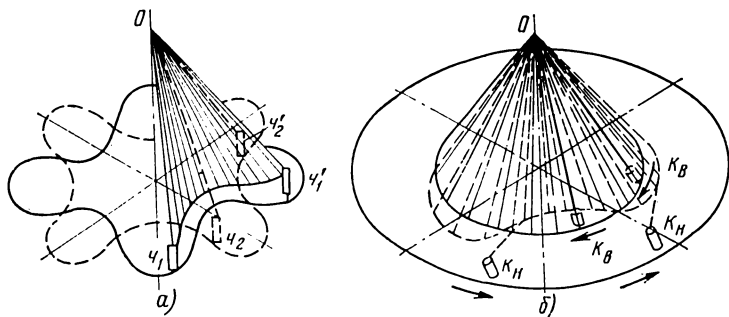


Рис. 13.12. Схема движения пасм на оплеточных машинах.

*a* — челночного типа; *б* — карусельного типа;  $\text{Ч}_1$  и  $\text{Ч}'_1$  — челноки одного направления;  $\text{Ч}_2$  и  $\text{Ч}'_2$  — челноки противоположного направления;  $\text{К}_Н$  — катушки нижнего ряда;  $\text{К}_В$  — катушки верхнего ряда.

вают катушки с проволокой. В верхней части рамы укреплен рычаг с роликом, связанный с натяжной пружиной и тормозом катушки. Над рычагом размещены два неподвижных направляющих ролика и один ролик во вращающемся кронштейне. Прядь проволоки с катушки проходит через оборотный ролик, ролик с рычагом, направляющие ролики и втулку и поступает на оплетаемый кабель (провод). Одна щека катушки снабжена храповиком, связанным с собачкой, на которую действует пружина через вертикальный стержень с упором. При натяжении проволоки рычаг поднимается и выводит собачку из зацепления с храповиком, катушка с проволокой поворачивается и освобождает необходимую длину проволоки. При ослаблении натяжения рычаг опускается и вызывает торможение катушки. В случае схода или обрыва проволоки на катушке рычаг падает и своим выступом

воздействует на механизм остановки машины. В эксплуатации на кабельных заводах СССР находятся отечественные машины челночного типа моделей ОНК-16-Э, ОНК-24-Э, ОПК-16-Э, ОПК-24-Э, аналогичные машины фирм «Нью Ингланд Батт» (США), «Стигер» (ФРГ) и др. На одном основании монтируют обычно 25 ходов

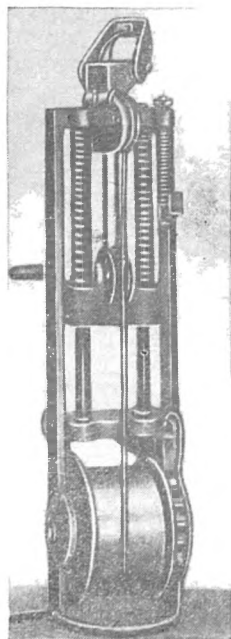


Рис. 13.13. Челнок оплеточной машины челночного типа для оплетки проволокой.

легких машин, а машины тяжелого типа для оплетки проволокой — одноходовые. Привод машин индивидуальный, с электродвигателем переменного тока и кнопочным выключателем. От электропривода приводятся во вращение тяговое колесо и приемное устройство с раскладочным механизмом (см. рис. 13.10). Тяговое колесо имеет конусную поверхность, за счет чего обеспечивается необходимый сдвиг витка. Механизм раскладки состоит из двустороннего винта, вращающегося в одном направлении. Вдоль этого винта с помощью суря, входящего в нарезку, движается каретка с водилкой.

Для снижения производственного шума производят замену металлического стола с волнообразным вырезом на стол из древесной пластмассы или капрона, стальных приводных шестерен с ведущим диском с крестообразным вырезом на капроновые.

**Карусельные оплеточные машины (ОПК-24-Э)** состоят из станины с плитой, в середине которой укреплены цилиндр с фланцем, упорный шарикоподшипник, стакан с заплечиками и коническое зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с коническим колесом приводного вала (рис. 13.14). На заплечике стакана размещен второй шарикоподшипник, на который опирается крестовина, несущая корпус оплеточного стола. В нижней части крестовины укреплено коническое зубчатое колесо, зацепляющееся с зубчатым колесом приводного вала,



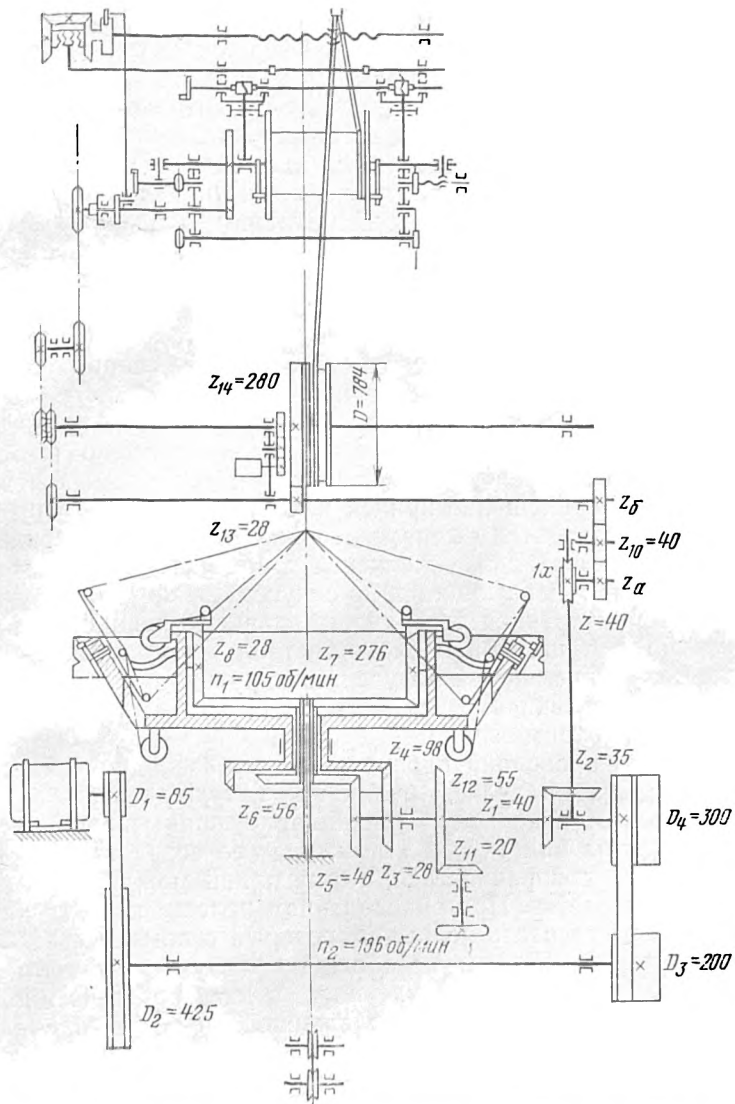


Рис. 13.14. Кинематическая схема оплеточной машины карусельного типа ОПК-24-Э.

Корпус оплеточного стола представляет собой кольцо с двумя бортами. На нижнем борту укреплены нижние катушкодержатели. На гребне кольца размещены ползуны, являющиеся опорой верхних катушкодержателей. В нижней части ползунунов находятся зубчатые конические рейки, сцепляемые с текстолитовыми шестернями — сателлитами, оси которых укреплены в корпусе оплеточного стола. Сателлиты в свою очередь связаны с зубчатым колесом, которое в сочетании с зубчатыми рейками представляет собой механизм, благодаря которому верхние катушкодержатели получают движение в направлении, обратном движению нижних катушкодержателей. Непрерывное и равномерное движение верхних катушкодержателей обеспечивается тем, что каждая рейка, не успев сойти с одного сателлита, попадает на следующий и увлекается им дальше.

В корпусе стола имеются 12 вертикальных пазов, в которые входят пряжи проволок нижних катушек, в это время верхние катушкодержатели проходят выше этих прядей. Перемещение прядей нижних катушек вверх и вниз производится рычагом переплетения прядей, совершающих качательное движение с помощью текстолитового сухаря,двигающимся по синусоидальному беговому пазу на внутренней поверхности внешнего неподвижного кольца. Катушку с проволокой вставляют в катушкодержатель с пинольными полуосями с пружинной защелкой. На оси катушки имеется диск, охватываемый стальной лентой для торможения.

Прядь проволоки пропускают через входной валик, два ролика на диске, ролик на катушкодержателе и направляют к проводу. При работе машины прядь расходуется на оплетку и натяжение ее возрастает. При этом диск поворачивается, длина пряди между роликами уменьшается. При определенном положении диск начинает действовать на рычаг, который с помощью вспомогательных рычагов освобождает катушку от торможения. Прядь сходит с катушки, а диск под действием спиральной пружины, расположенной на оси вращения, поворачивается и восстанавливает запас пряди между роликами. Катушка имеет щеки диаметром 65 мм, шейку диаметром 20 мм и расстояние между щеками 80 мм (масса медной проволоки 1,5 кг, а стальной 1,3 кг).

Бобинодержатель оплеточных машин для оплетки пряжей (ОНК-16-Э) изображен на рис. 13.15. Корпус

бобинодержателя крепится к наружной карусели с помощью изогнутого кронштейна. В бобинодержателе на основании оси для бобины имеется диск с храповыми зубьями и собачкой. На ось бобинодержателя надевают бобину и закрепляют пружинным замком. В стойке корпуса размещен рычаг, оканчивающийся крючком. Поворот рычага в сторону бобины ограничивается пружиной, натяжение которой изменяется с помощью регулятора, снабженного указателем. На кронштейне укреплена рамка (стержень), являющаяся внутренней направляющей пряжи. Во время работы машины пряжа расходуется на оплетку. Под ее натяжением, преодолевая натяжение пружины, поворачивается рычаг, отводит собачку от храповых зубьев диска, вследствие чего бобина поворачивается и пополняет расход пряжи на оплетку. Механизм регулирования натяжения прядей одновременно используется для автоматической остановки машины при сходе или обрыве пряжи. В этом случае пружина, стремясь сократиться, отводит рычаг в крайнее положение. Нижний конец рычага отводит в сторону шток, который ударяет по стопору, воздействуя на тормоз и механизм выключения машины.

Оплеточные машины оборудуются отдающими и приемными приспособлениями. Установка и спуск барабанов осуществляются поворотом рычага, при этом барабан достигает пола, а затем выкатывается из приемника. Машины карусельного типа работают с частотой вращения до 165—180 об/мин.

Оплеточные машины моделей 122 и 124, а также моделей ХЖ-16 и ХЖ-24 (ГДР) конструктивно сходны с приведенной выше машиной модели ОПК-16-Э. Катушкодержатель несколько упрощен по сравнению с машинами ОПК-16-Э, диск с размещенными на нем ролика-

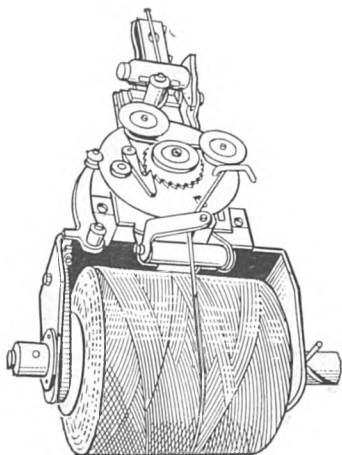


Рис. 13.15. Бобинодержатель оплеточной машины карусельного типа.

ми заменен роликами и рычагами в вертикальном положении, а механизм торможения катушки вынесен на пинольную полуось.

Оплеточные машины моделей «Унидра-24» и «Унидра-32» (ГДР) имеют сходную кинематическую схему с машинами ХЖ-16 и ХЖ-24, но рабочие механизмы этих машин размещены в горизонтальной плоскости. На каруселях, вращающихся навстречу друг другу, размещены передние и задние катушкодержатели. В этих машинах применяют катушки диаметром 125 мм, диаметр сердечника 65 мм (масса медной проволоки 3 кг). На машинах «Унидра-24» оплетают медной или оцинкован-

Таблица 13.4

**Технические данные оплеточных машин**

Технические данные	ОНК-16-Э	ОП-24-Э	ОПК-24-Э
Диаметр оплетаемого кабеля (провода), мм	1,0—10,0	7—15	6—25
Частота вращения, об/мин	—	35	18; 20; 24
Линейная скорость, м/мин	0,343—1,752	0,28—0,284	0,40—1,5
Шаг оплетки, мм	—	8,0—80,8	9,0—85,0
Диаметр тягового колеса, мм	—	784	920
Мощность электродвигателя, кВт	—	1,7	1,7
Частота вращения электродвигателя, об/мин	1400	930	930

*Продолжение табл. 13.4*

Технические данные	ОПК-36-Э	ХЖ-24	«Унидра-32»
Диаметр оплетаемого кабеля (провода), мм	25—55	До 10	10—70
Частота вращения, об/мин	12; 14; 17	90	18—25
Линейная скорость, м/мин	0,30—1,10	1,25—1,96	0,50—5,70
Шаг оплетки, мм	20,0—80,0	29,5—47,0	10,0—210,0
Диаметр тягового колеса, мм	1274	506	950
Мощность электродвигателя, кВт	2,8	1,7	5,5
Частота вращения электродвигателя, об/мин	930	1440	1440

ной стальной проволокой диаметром до 0,4 мм кабели диаметром до 45 мм. Вместо тягового колеса машина оборудована тяговым устройством гусеничного типа. Технические данные оплеточных машин приведены в табл. 13.4.

### 13.3. НАЛОЖЕНИЕ ПРОВОЛОЧНЫХ ЭКРАНОВ И ЗАЩИТНЫХ ОПЛЕТОК

Наложение проволочных экранов производят из медной оловянированной, посеребренной медной или серебряной проволоки диаметром 0,08—0,30 мм. Особо гибкие провода и шнуры оплетают мишурными нитями. В зависимости от диаметра экранируемого кабеля (провода) и плотности оплетки применяют различное количество параллельных проволок в прядке (2—10 проволок) и оплеточные машины с различным количеством катушек. Кабели и провода малого диаметра оплетают на машинах с 8 катушками, а большого диаметра — на машинах с 24 катушками и более.

Качество экрана зависит от однородности диаметра заготовки по длине кабелей (провода). При применении расчетных параметров оплетки провода участки увеличенного диаметра фактически будут иметь меньшую поверхностную плотность и при некоторых условиях проволоки в прядке могут иметь перекрещивания. Натяжение отдельных проволок в ней должно быть одинаковым. Поэтому перед началом наложения экранирующей оплетки должны тщательно проверять качество заготовки, диаметр проволоки и количество проволок в прядке. Поддержание постоянной скорости наложения оплетки достигается стабильной скоростью тягового колеса. Неравномерная намотка заготовки на отдающем барабане или работа с бухты, установленной на вертикальном конусе, может вызвать торможение ее на барабане из-за западания витков. Рывки и прочие отклонения могут вызвать местные нарушения расчетных параметров оплетки. Наиболее целесообразно заготовку оплетать с равномерно намотанного барабана с регулируемым торможением. Во избежание повреждения изоляции заготовки с барабана должна проходить через направляющий по центру машины ролик под машиной. Применение автоматов на сход конца заготовки, обрыв или наличие дефекта обеспечивает сохранение высокого качества про-

вода и снижение количества отходов. При сходе пряжи с катушки или ее обрыве производят замену катушки. Запутанные проволоки сматываются и в оплетку подпускается дополнительная прядь.

До поступления провода на приемный барабан концы проволок подпущенной пряжи должны быть коротко подстрижены и заглажены. В процессе работы следят за качеством оплетки и при обнаружении дефектов устраняют причину. Скорость приема экранированного провода на приемный барабан по мере его заполнения увеличивается, поэтому в процессе работы по натяжению провода между тяговым колесом и приемным барабаном необходимо регулировать сцепление скользящей муфты. Это натяжение должно быть достаточным, чтобы провод не провисал и полностью принимался на барабан. Излишнее натяжение может вызвать обрыв жил провода. Не следует допускать такого натяжения, при котором провод начинает проскальзывать на тяговом колесе. Действие скользящей передачи считается удовлетворительным, если приемный барабан легко поворачивается при вытягивании провода вручную. После установки приемного барабана необходимо проверить работу механизма раскладки. Укладка провода должна производиться по всей ширине барабана и в соответствии с этим должен быть установлен ход механизма раскладки. Шаг раскладки следует устанавливать в соответствии с диаметром оплетенного провода, он должен быть равен диаметру провода или немного его больше.

После окончания оплетки всей заготовки, находящейся на отдающем барабане, производят установку нового барабана с заготовкой.

#### **13.4. НАЛОЖЕНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ ЗАЩИТНЫХ ОПЛЕТОК**

Для наложения легких защитных покровов методом оплетки используется хлопчатобумажная и льняная пряжа, стекловолокно, асбестовое, синтетическое и искусственное волокна. В зависимости от диаметра оплетаемой заготовки и плотности оплетки применяют различное количество параллельных нитей в пряжи (2—10) и оплеточные машины с различным числом бобин (16, 24, 32 и 36).

Качество оплетки зависит от однородности заготовки по длине (стабильность диаметра по длине, овальность,

местные утолщения и утонения и другие факты). Благодаря более высокой настильности волокнистых материалов по сравнению с проволокой параметры оплетки изменяются незначительно. Однако неодинаковое натяжение отдельных нитей в пряди проявляется, например, в виде петель, перехлестывания нитей, что ухудшает внешний вид оплетенных шнуров или лакированных проводов.

Намотка заготовки на барабан, исключая западание витков, и намотка бобины равномерно натрошенной пряжей являются необходимым условием для получения качественной оплетки на проводе. Использование заготовки в виде бухт, располагаемых на вертикальном конусе, может привести к защемлению витков и поэтому совершенно недопустимо. Иногда бухты заготовки на разъемных барабанах устанавливают в отдатчики. В этом случае необходимо, чтобы витки заготовки не были перепутаны. Во избежание повреждения изоляции заготовку с отдающего барабана пропускают через направляющий ролик под машиной, направляют ее строго по центру машины.

В соответствии с заданными расчетными параметрами оплетки заготовки по кинематической схеме устанавливают сменные шестерни. Шестерни должны иметь достаточно плотное сцепление по всей длине и ширине зуба. Затем заправляют челноки или бобинодержатели бобинами пряжи и пряди выводят на заготовку провода. При заправке бобин производят регулирование торможения всех прядей оплетки, чтобы получить качественную оплетку. Перед тяговым колесом на кронштейне устанавливают калибр, который должен быть на 0,5—2 мм больше диаметра провода. Калибр подбирают такого диаметра, чтобы происходило выравнивание и сглаживание оплетки. Его устанавливают в месте схода всех прядей (узел плетения), поэтому его положение определяют после пуска машины. Произведя сплетение прядей на наибольшей длине, закрепляют конец оплетки на тяговом колесе, вводят внутрь оплетки конец заготовки и пускают машину в ход. После того как на тяговое колесо будет принято семь-восемь витков провода, машину останавливают, часть провода снимают с тягового колеса и укрепляют на приемном барабане. На тяговом колесе после этого должно оставаться не менее трех-четыре витков.

Проверив натяжение ремня на приемном барабане, машину пускают в ход. В дальнейшем по мере заполнения приемного барабана проводом его частота вращения должна уменьшаться. В соответствии с этим скользкую передачу регулируют, чтобы было обеспечено вращение приемного барабана с необходимой скоростью (провод не должен провисать и полностью приниматься на барабан). После установки приемного барабана проверяют механизм раскладки, он должен обеспечить раскладку провода по всей ширине барабана. В машинах с групповым механизмом раскладки могут использоваться барабаны только с одинаковой шириной между щеками. Шаг водилки следует устанавливать равным диаметру оплетенного провода или немного больше. При слишком большом шаге укладка провода на барабане будет рыхлой, неплотной, при этом коэффициент заполнения барабанов снижается.

Примерные значения радиальной толщины оплетки и кроющей ширины нити различных материалов были приведены в табл. 13.3.

В зависимости от условий эксплуатации кабелей, проводов или шнуров оплетку на них накладывают с различным натяжением прядей. При сильном натяжении прядей получается большее обжатие оплеткой изоляции, снижение гибкости провода или шнура и сокращение расхода волокнистых материалов, пропиточных составов или покровных лаков. В тех случаях, когда основным требованием к шнурам является повышенная гибкость (например, соединительные шнуры для электрических утюгов), оплетку накладывают с минимальным натяжением прядей. Однако сохранить это натяжение практически сложно. Поэтому под оплетку подпускают проволоку диаметром 1—3 мм, один конец которой крепят к трубке, направляющей оплетаемый провод в узел оплетки, а второй ее конец затачивают до полусферы и заостряют. Этот конец проволоки подпускают вместе со шнуром под оплетку; так как нижний (первый) конец проволоки закреплен неподвижно, то по мере наложения оплетки проволока из-под нее вытягивается и оплетка получается более свободной, обеспечивающей повышенную гибкость шнура.

Для расцветки некоторых проводов применяют одну или две цветные пряди, которые создают на белом фоне цветную спираль. Для повышения износостойкости шну-



ра и придания им эстетической расцветки (например, шнуры для бытовых приборов) оплетку выполняют швейными нитками черного и белого цвета. Половину прядей применяют одного цвета, а вторую половину — другого. Комбинируя пряди различного цвета, выбирают желаемый рисунок оплетки.

В процессе наложения оплетки необходимо проверять качество получающейся оплетки и размеры готового провода (шнура). При сходе или обрыве пряди машина автоматически останавливается. В этом случае необходимо устранить причину обрыва или заменить бобину и связать концы прядей.

На оплеточных машинах для кабелей и проводов больших сечений установку и снятие отдающих и приемных барабанов производят с применением подъемных приспособлений (краны, тали, электроподъемники и т. п.).

### 13.5. ПРОПИТКА ПРОВОДОВ

Составы для пропитки оплетки проводов в зависимости от их назначения делят на три вида: атмосферостойкие, противогнилостные и негорючие (нераспространение горения).

Атмосферостойкие составы (нефтяные битумы, парафин, естественные асфальты, воски, смолы, каучук и др.) применяют для пропитки оплетки или обмотки проводов, работающих в условиях непосредственного воздействия солнечной радиации, дождя, росы, снега и т. п.

Противогнилостные составы отличаются от атмосферостойких пропиточных составов наличием в них ряда веществ, предохраняющих волокнистые материалы от разрушения различными микроорганизмами, грибами и термитами. Наиболее широкое применение получил пропиточный состав СП-1 (озокерит или церезин, нефтяной битум, парафин, петролатум и до 10% нафтената меди).

Покровные составы, придающие волокнистым материалам способность не распространять горение, представляют собой водные растворы минеральных солей (бура), клеев и некоторых кислот (борная); они изготавливаются также с применением минеральных порошков (тальк, слюда) и высыхающих масел, растворов хлорированных углеводов или трикрезилфосфата.

Пропиточные составы наряду с консервирующей способностью должны обладать малой вязкостью при температурах пропитки. Проникновение этих составов в хлопчатобумажную пряжу должно быть глубоким, чтобы не оставалось непропитанных волокон. Максимальная вязкость пропиточных составов должна быть примерно 1,34<sup>э</sup> при 170°С и 1,43<sup>э</sup> при 140°С. Пропиточный состав должен образовывать на поверхности проводов достаточно прочный, немаркий и нелипкий слой.

Пропитка оплетки проводов заключается в протягивании оплетенного провода через ванну с расплавленным пропиточным составом. Она состоит из ванны с расплавленным пропиточным со-

ставом, помещаемой во вторую ванну с жидким высококипящим теплоносителем, обогреваемую с помощью электрических нагревателей трубчатой или спиральной формы. Непосредственный обогрев ванны с пропиточным составом приводит к местным перегревам состава и нередко заканчивается его загоранием. Заданный режим пропиточного состава поддерживают с помощью терморегуляторов. Качество пропитки оплетки зависит от времени нахождения пропитываемого провода в ванне с пропиточным составом, поэтому длину ванны выбирают с учетом длины провода в ванне и скорости пропитки. Достигается это двумя способами: изготовлением

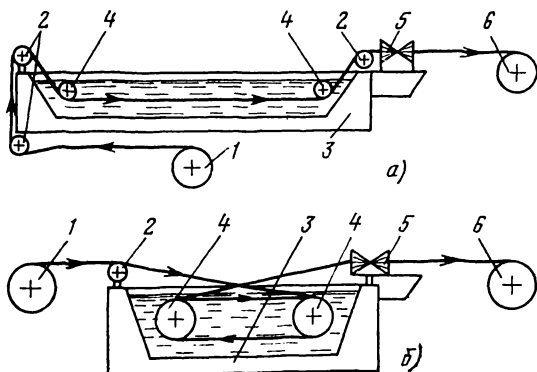


Рис. 13.16. Схемы агрегатов для пропитки проводов.

*а* — удлиненная ванна с однократным прохождением провода; *б* — укороченная ванна с 2—3 кратным прохождением провода; 1 — отдающие барабаны; 2 — направляющие ролики; 3 — ванна с пропиточным составом; 4 — направляющие ролики в пропиточном составе; 5 — обжимной калибр; 6 — приемный барабан.

пропиточной ванны увеличенной длины, через которую провод проходит 1 раз, или размещением в ванне двух рядов роликов, через которые пропитываемый провод проходит 3 или 4 раза. Ванна увеличенной длины обеспечивает меньшее сопротивление прохождению провода, но требует больших габаритов. Ванна с несколькими роликами для многократного прохождения по ним провода более сложна в эксплуатации. Схемы пропиточных агрегатов изображены на рис. 13.16.

Удаление избытка пропиточного состава с пропитываемого провода производят с помощью металлических обжимов или резиновых пластин с отверстием, через которое пропускают пропитанный провод. Удовлетворительные результаты получают при использовании проволочного обжима, состоящего из двух дисков, расположенных параллельно на расстоянии 200—250 мм, по окружности дисков закреплены четыре—шесть проволок. Поворотом одного диска относительно другого проволоки закручивают, причем образуются два встречных конуса, сходящиеся посредине между дисками, и отверстие, через которое проходит пропитанный провод. Обжатие провода регулируется углом поворота одного из дисков.

Провода малых сечений (0,5—1,5 мм<sup>2</sup>) пропитывают на 6—12-ходовых агрегатах, средних сечений (2,5—10,0 мм<sup>2</sup>) — на 3—6-ходовых, а провода сечением 16 мм<sup>2</sup> и выше — на одноходовых. Сматывание пропитываемых проводов производят с катушек или барабанов, оборудованных тормозными устройствами. Приемники пропиточных агрегатов устанавливают на расстоянии 5—8 м от пропитанной ванны, чтобы пропитка на проводе успела охладиться и не происходило слипания витков провода на барабане. При применении для покрытия слюдяной крошки провод при выходе из пропиточной ванны поступает в камеру со слюдой и на выходе из нее проходит через калибр. При приеме пропитанного провода в бухту определенной строительной длины применяют разъемные барабаны, а провод пропускают через счетчик длины. Линейная скорость при пропитке проводов малых сечений 60—200 м/мин, а проводов средних и больших сечений — 15—100 м/мин.

### 13.6. ЛАКИРОВКА ПРОВОДОВ

Лаковые покрытия на основе эфиров целлюлозы (нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные) масло- и бензиностойки, а также могут длительное время выдерживать влияние озона. Нитроцеллюлозные лаки представляют собой растворы лакового коллоксилина (сложный эфир целлюлозы и азотной кислоты) в смеси органических растворителей и разбавителей с добавкой пластификаторов. Нитроцеллюлозные лаки марок 4Б и 4БА (антисептированный) имеют содержание сухого остатка не менее 31% и 5Б повышенной нагревостойкости) — не менее 30%. Этилцеллюлозные лаки представляют собой растворы этилцеллюлозы и пластификатора в органическом растворителе: ЭДП-2 с содержанием сухого остатка не менее 35% и ЭКЛ-1 — не менее 28%. Нагревостойкий покровный лак на основе сополимера винилиденфторида и гексафторпропилена и растворителя Ф-26 (смесь ацетона, этилацетата и бутилацетата) обладает высокими механическими свойствами, сохраняющимися длительное время при 135°C.

Покровные лаки обладают высокой адгезией с волокнистыми материалами и могут образовывать сплошную пленку требуемой толщины. Процесс лакировки проводов состоит в последовательном нанесении на них нескольких слоев лака с подсушкой каждого из них после наложения. Во время сушки лакового покрытия происходит испарение растворителя и толщина лакового слоя уменьшается до 25—30% первоначальной. Для получения требуемой толщины лакового покрытия на провод наносят от 3 до 12 покрытий.

Схема агрегата для нанесения на провод покровного лака приведена на рис. 13.17, а чертеж агрегата — на рис. 13.18. Вертикальная нагревательная камера с наружной теплоизоляцией внутри разделена пополам. Если камера предназначена для одновременного лакирования 2—4 проводов, ее обычно делят на секции для многократного покрытия в каждой из них одного провода. Обогрев камеры может быть паровым или электрическим с подачей нагретого воздуха через калорифер навстречу движению провода. Высота камеры 6—12 м и сечение 600 × 400 мм. В нижней части камеры установлен приводной вал с канавками для протягивания

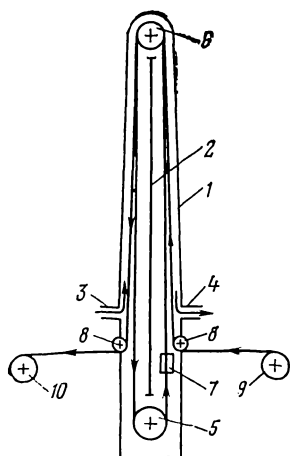


Рис. 13.17. Схема агрегата для лакировки проводов.

1 — корпус камеры; 2 — перегородка внутри камеры; 3 — входное отверстие для подачи подогретого воздуха; 4 — выходное отверстие для выхода воздуха (отсасывающая вентиляция); 5 — тяговый вал; 6 — верхние ролики; 7 — ванна с калибрами; 8 — направляющие ролики; 9 — отдающий барабан с приводом; 10 — приемный барабан с приводом.

провода через камеру с заданной скоростью, в верхней части размещен вал со свободно вращающимися роликами. Диаметр вала и роликов одинаков и может быть в зависимости от диаметра лакируемого провода от 300 до 450 мм. Верхние ролики закрыты откидной крышкой, на разной высоте камеры имеются окна для облегчения заправки в ней провода. Лаковые ванны установлены в нижней части камеры.

На рис. 13.19 изображена одна из конструкций закрытой лаковой ванны, разделенной с помощью перегородки на две части: через меньшую проходит лакируемый провод, в большей — находится лак. Заливают лак через загрузочный люк с герметической крышкой. Внутреннюю перегородку устанавливают посередине ванны с оставлением отверстий в нижней и верхней части. Подача лака в рабочую часть ванны производится через нижнее отверстие, а избыток лака и образующаяся пена в этой части ванны через стенку переливается в запасную часть камеры. В нижней и в верхней стенках рабочей части ванны размещены 6—12 сальников со вставленными в них резиновыми калибрами (протирами) толщиной 3—5 мм, через которые пропускают лакированный провод. Внутренняя поверхность калибра должна быть ровной и гладкой, так как неровности, риски и тому подобные дефекты создают продольные риски на поверхности лаковой пленки.

На рис. 13.20 изображена миниатюрная ванна для нанесения одного слоя лака. Такие ванны могут быть собраны в ряд по числу слоев лака, наносимого на провод. Ванна состоит из цилиндрического корпуса с входным и выходным патрубками двух калибров, размещенных между верхней и нижней прокладками, поджигаемыми крышками с резьбой.

Заготовку провода с отдающего барабана или катушки через направляющий ролик подают в камеру для предварительной сушки перед лакированием. При этом заготовка проходит через верхний оборотный ролик, приводной вал и лаковую ванну. Далее провод поступает в камеру, где пленка подвергается сушке. Циклы покрытия лаком и сушки повторяются. После сушки провод принимают на приемный барабан.

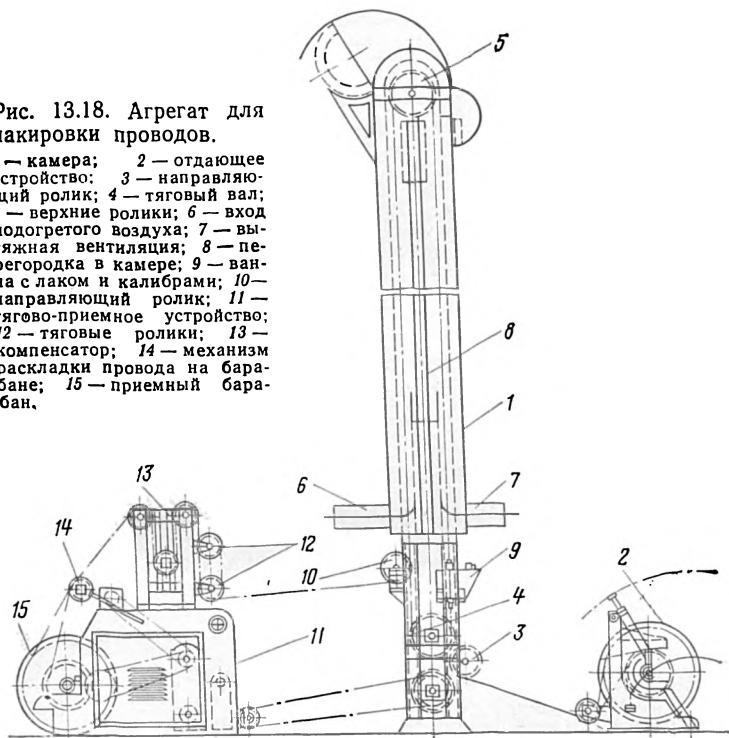
Удаление растворителя проходит неравномерно по толщине покрытия. Растворитель наиболее быстро удаляется с поверхности покрытия, в результате чего она становится менее парогазопроницаемой. Растворитель, находящийся внутри слоя лака, при дальнейшем нагревании может образовывать в лаковой пленке поры.

Поэтому технологически важно выбрать такие толщину пленки лака, наносимую на провод, температуру и скорость сушки, при которых процесс сушки проходил бы без образования пор. Покрытия на основе нитроцеллюлозного лака обычно сушат при 65°C.

Сушка лакового покрытия на проводе сопровождается выделением паров растворителя в окружающее пространство. Увеличе-

Рис. 13.18. Агрегат для лакировки проводов.

1 — камера; 2 — отдающее устройство; 3 — направляющий ролик; 4 — тяговый вал; 5 — верхние ролики; 6 — вход подогретого воздуха; 7 — вытяжная вентиляция; 8 — перегородка в камере; 9 — ванна с лаком и калибрами; 10 — направляющий ролик; 11 — тягово-приемное устройство; 12 — тяговые ролики; 13 — компенсатор; 14 — механизм раскладки провода на барабане; 15 — приемный барабан.



ние концентрации растворителя в камере снижает эффективность сушки лаковой пленки. Поэтому необходимо поддержание в камере низкой концентрации паров растворителя. Наиболее эффективным процессом сушки лакового покрытия на проводе является сушка в токе подогретого воздуха, который захватывает пары растворителя и удаляет их из сушильной камеры. Лучшие результаты сушки пленки получаются при потоке воздуха, направленном навстречу лакируемому проводу. В этом случае большая часть провода будет находиться в среде с малым содержанием паров растворителя и сушка лаковой пленки в такой среде будет проходить более равномерно и быстро. Скорость подачи нагретого воздуха зависит от типа растворителя, и ее определяют экспериментально по степени высыхания пленки лака. Скорость лакирования зависит также от высоты сушильной камеры и толщины лакового

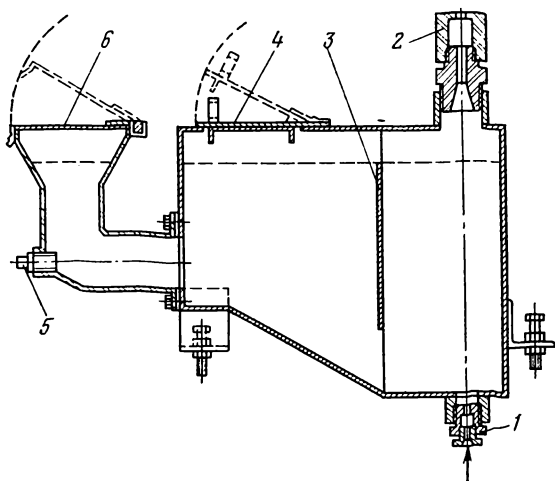


Рис. 13.19. Ванна для лакировки проводов.

1 — входной сальник с калибром; 2 — выходной сальник с калибром; 3 — перегородка в ванне; 4 — крышка ванны; 5 — спускное отверстие; 6 — загрузочный люк с крышкой.

слоя. Чем тоньше лаковая пленка на проводе, тем быстрее проходит процесс сушки, и, следовательно, тем выше скорость лакирования. Практическая скорость лакирования в зависимости от сечения провода и толщины покрытия колеблется от 4 до 50 м/мин.

При загрязненной поверхности или повышенной влажности пря-

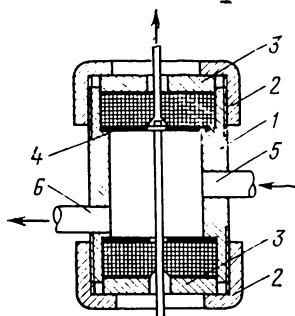


Рис. 13.20. Миниатюрная лаковая ванна.

1 — корпус; 2 — верхняя и нижняя крышки с нарезкой для зажатия калибров; 3 — прокладки; 4 — калибры; 5 — патрубок для подачи лака; 6 — патрубок для выпуска лака.

жи лаковое покрытие оплетки имеет слабую адгезию и при изгибании провода может от него отслаиваться. Во избежание появления таких дефектов следят за тем, чтобы оплетка была достаточно сухой, а также не имела узлов и петель. Лакированный провод принимают на барабаны, катушки или в бухты.

## НАЛОЖЕНИЕ БРОНЕПОКРОВОВ

### 14.1. БРОНИРОВОЧНЫЕ МАШИНЫ

Защитные покровы, предназначенные для защиты кабелей от механических повреждений и от коррозии, состоят, как правило, из следующих элементов: подушки, брони и наружного защитного покрова.

В зависимости от типа защитного покрова, который определяется условиями прокладки и эксплуатации кабеля, конструкция элементов может быть различной. Например, подушка покровов типов Б и БГ состоит из чередующихся слоев: битум, лента крепированной бумаги, битум, две ленты крепированной бумаги, битум. Броня в защитных покрывах этого типа выполняется из стальных лент. Для покрова типа БГ наружный защитный покров отсутствует, а для покрова типа Б он состоит из слоя битума, слоя кабельной пряжи или штапелированной стеклопряжи, слоя битума и покрытия, предохраняющего витки кабеля от слипания (мел, тальк, дробленая слюда).

Покровы типа К, например, имеют следующие элементы. Подушка состоит из слоя битума, ленты крепированной бумаги, слоя битума, слоя кабельной пряжи и слоя битума. Броня выполняется из стальных круглых проволок диаметром 4—6 мм. Наружный покров имеет такую же конструкцию, как и в покрывах типа Б.

Помимо приведенных элементов конструкции в защитных покрывах используются также синтетические ленты (поливинилхлоридные, полиэтилентерефталатные, полиамидные или другие равноценные) для увеличения влагостойкости покрывов. Наиболее современные защитные покрывы имеют в качестве подушки или наружного защитного покрова выпрессованный полиэтиленовый или поливинилхлоридный шланг, который накладывается на слой синтетической ленты, подклеенной к металлической оболочке битумным составом. Наружные покрывы шлангового типа изготавливаются на агрегатах для наложения пластмассовых оболочек.

Наложение слоистых защитных покрывов (защитных покрывов ленточного типа) производится на бронировоч-

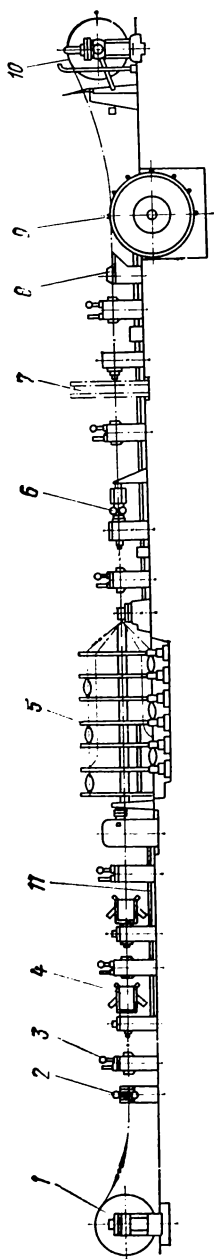


Рис. 14.1. Схема универсальной бронировочной машины типа МВА-120 + КРД48×630.

1 — отлающее устройство; 2 — счетчик длины кабеля; 3 — битумная ванна; 4 — бумагообмотчик; 5 — круглая кость на 48 ка-  
тушек; 6 — бронсеобмотчик; 7 — пряжеобмотчик; 8 — меловая ванна; 9 — тяговый механизм; 10 — приемное устройство; 11 — транс-  
миссия.

ных машинах. Все брониро-  
вочные машины можно разде-  
лить на универсальные, лен-  
тобронировочные и проволоно-  
чнобронировочные машины.  
Универсальные машины типов  
МВА-48-1Э и МВА-120 +  
+КРД48×630 позволяют на-  
кладывать покровы как с про-  
волочной, так и с ленточной  
броней. Лентобронировочные  
машины типов МВА-40,  
МВА-90, МВА-120, БММ-1-Э,  
БМ-Э позволяют накладывать  
только ленточную броню. Про-  
волочнобронировочные маши-  
ны типа МКВД54 + 54×630  
обеспечивают наложение толь-  
ко проволочной брони.

Схема универсальной бро-  
нировочной машины типа  
МВА-120 + КРД48×630 пред-  
ставлена на рис. 14.1. Схема  
лентобронировочной машины  
типа МВА-90 приведена на  
рис. 14.2. Технические харак-  
теристики некоторых типов  
бронировочных машин приво-  
дятся в табл. 14.1.

Выбор типа машины для  
наложения защитных покров-  
ов зависит от типа брони,  
а также от наружного диаме-  
тра изготавливаемого кабеля.  
Рекомендуемые типы брони-  
ровочных машин для наложе-  
ния защитных покровов при-  
водятся в табл. 14.2.

Устройство бронировочной  
машины разберем на примере  
универсальной бронировочной  
машины (см. рис. 14.1).  
Устройство лентобронировоч-  
ной машины аналогично, толь-



ко эта машина не имеет крутильной клетки для наложения брони из проволок. При прохождении кабеля через бронировочную машину происходит последовательное наложение всех элементов защитного покрова. Например, если на кабель накладываются покровы типа Б, то кабель, сойдя с отдающего барабана, попадает в битумную ванну, где на металлическую оболочку наносится слой битума, далее кабель обматывается двумя слоями крепированной бумаги, затем снова поступает в битумную ванну, а затем опять обматывается крепированной бумагой. Далее после прохождения очередной битумной ванны кабель попадает к бронеобмотчику, где на него накладываются две стальные оцинкованные ленты. После наложения брони кабель вновь проходит через битумную ванну, далее обматывается пропитанной кабельной пряжей или стеклянной пряжей из штапелированного волокна, проходит через битумную ванну, а затем через меловую ванну. Меловое покрытие предохраняет витки кабеля от слипания на приемном барабане.

При наложении на кабель защитных покровов другого типа последовательность и вид технологических операций могут меняться. Например, при наложении проволочной брони лентообмотчик не использу-

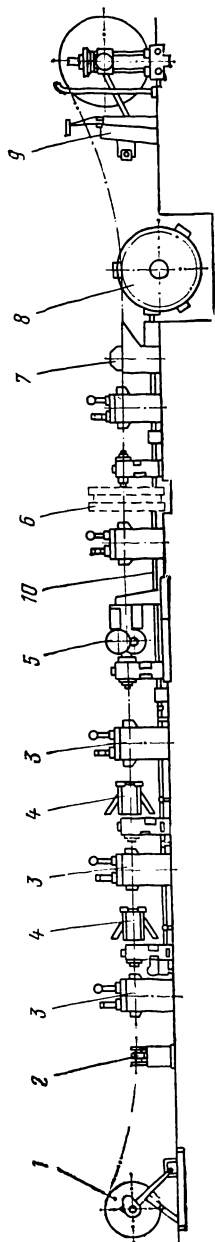


Рис. 14.2 Схема лентобронировочной машины типа MBA-90.

1 — отдающее устройство; 2 — счетчик длины кабеля; 3 — битумная ванна; 4 — бумагообмотчик; 5 — бронеобмотчик; 6 — пряжеобмотчик; 7 — меловая ванна; 8 — битумная ванна; 9 — тяговый механизм; 10 — приемное устройство.

Технические характеристики некоторых типов бронировочных машин

Таблица 14.1

Характеристики	Марки машин				
	БММ-1-Э	БМ-Э	БМВ-1-Э	МВА-40	МВ-90
Страна-изготовитель	СССР	СССР	СССР	ГДР	ГДР
Диаметр кабеля по оболочке, мм, не более	25	40	90	20	40
Количество бронеобмотчиков и клемм	1	1	1	1	1
Количество бумагообмотчиков	2	2	2	2	2
Частота вращения бронеобмотчика, об/мин	214—250	220—250	250—350	120—300	225—300
Частота вращения бумагообмотчика, об/мин	204—296	200—250	200—300	160—400	160—400
Линейная скорость бронирования кабеля, м/мин	6—15	4—15	6—22	5—30	5—30
Количество пряжеобмотчиков	1	1	2	1	1
Число битумных ванн	5	5	5	5	5
Диаметр тягового колеса, мм	2000	2500	3600	1600	2000

Продолжение табл. 14-1

Характеристики	Марки машин			
	МВА-120	БМ-48-1Э	МВА-120+КРД48Х630	МКВД-54+54Х630
Страна-изготовитель	ГДР	СССР	ГДР	ГДР
Диаметр кабеля по оболочке, мм, не более	40	100	100	110
Количество бронеобмотчиков и клемм	1	1+1 48	1+1×48	2×54
Количество бумагообмотчиков	2	2	2	2
Частота вращения бронеобмотчика, об/мин	120—300	250—350	120—200	120—200
Частота вращения бумагообмотчика, об/мин	160—400	200—300	250—355	до 300
Линейная скорость бронирования кабеля, м/мин	5—30	5—16	5—30	6—36
Количество пряжеобмотчиков	1	2	1	1
Число битумных ванн	5	5	6	6
Диаметр тягового колеса, мм	3000	3600	3000	3500

## Рекомендуемый тип бронировочных машин для наложения защитных покровов на кабель

Диаметр кабеля по оболочке, мм	Тип брони	
	ленточная	проволочная
До 20	МВА-40; БММ-1-Э	—
20—40	БМ-Э; МВА-40; МВА-90	—
Свыше 40	БМБ-1-Э; МВА-120	—
До 100	—	БМ-48-1Э; МВА-100+КРД48×630
До 110	—	МКВД-54+54×630

ется, а бронирование производится при прохождении кабеля через крутильное устройство. Тем не менее в бронировочной машине можно выделить следующие основные конструктивные узлы: отдающее устройство, ванны для наложения битума, бумагообмотчики, предназначенные для наложения на кабель бумажных или синтетических лент, пряжеобмотчики, предназначенные для наложения на кабель повива кабельной пряжи или штапелированной стеклопряжи, бронеобмотчик для наложения ленточной брони, крутильное устройство для наложения проволочной брони, ванна, предназначенная для покрытия кабеля меловым раствором, тяговое и приемное устройства.

Отдающее устройство бронировочных машин представляет собой опоры, на которые устанавливается ось с кабельным барабаном. Для обеспечения плавного схода кабеля с барабана отдающее устройство обычно оборудуется ленточными или колодочными тормозами. Установка и съем барабанов осуществляется с помощью специальных подъемных устройств.

В бронировочных машинах могут использоваться бумагообмотчики различных типов, однако наиболее перспективными являются бумагообмотчики полутангенциального типа, рассчитанные на два—четыре ролика лент наружным диаметром 500 мм. В бумагообмотчиках полутангенциального типа ролики бумажных лент размещаются в непосредственной близости к оси кабеля, что создает наиболее кинематически уравновешенную систему и позволяет получить более высокие скорости обмотки лентой. Как правило, для обмотки кабеля пластмассовыми лентами используются те же бумагообмотчики.

Однако так как разрывная прочность бумажных и пластмассовых лент значительно различается, то бумагообмотчики должны иметь устройства, позволяющие регулировать натяжение лент при обмотке в достаточно широких пределах.

Пряжеобмотчик (рис. 14.3) представляет собой металлический, консольно вращающийся в подшипнике диск. В диске неподвижно закреплены стержни-оси для установки до 72 бобин с пряжей. Нити, сходя с бобин, через распределительную розетку направляются к кабелю. Частота вращения пряжеобмотчика 70—150 об/мин. Диаметр устанавливаемых бобин с пряжей около 230 мм, длина 220 мм, внутренний диаметр 20 мм.

Бронеобмотчики (рис. 14.4) современных машин обычно являются обмотчиками полутангенциального типа, рассчитанными на два ролика ленточной брони диаметром 600—700 мм. Они оборудованы устройствами, обеспечивающими постоянство натяжения ленты и угла ее наложения на кабель. Для исключения совпадения стальных лент при обмотке кабеля бронеобмотчики снабжаются плашками, ширина которых соответствует ширине бронеленты. Эти плашки ограничивают перемещение лент при остановке машины. Частота вращения обмоточной головки обычно не превышает 250 об/мин.

Крутильное устройство представляет собой крутильную клеть на 48 катушек диаметром от 400 до 600 мм. Клеть обязательно имеет откручивающее устройство. Наложение круглой брони производится с откруткой, наложение плоской брони— без открутки.

Меловая ванна (рис. 14.5) емкостью 100—120 л предназначена для нанесения на поверхность кабеля меловой суспензии или смеси талька и слюдяных частиц для того, чтобы предотвратить слипание витков кабеля на тяговом колесе и барабане. Наиболее удачной является конструкция меловой ванны закрытого типа, где используется направляющий лоток и черпаковое колесо для поливки кабеля водной суспензией мела. Водная суспензия мела готовится во вспомогательном баке, из которого перекачивается в меловую ванну по трубам. Особое внимание уделяется концентрации суспензии. Слишком густая суспензия не будет подаваться черпаками и равномерно покрывать кабель. Жидкая суспензия легко стекает с кабеля. Для поддержания

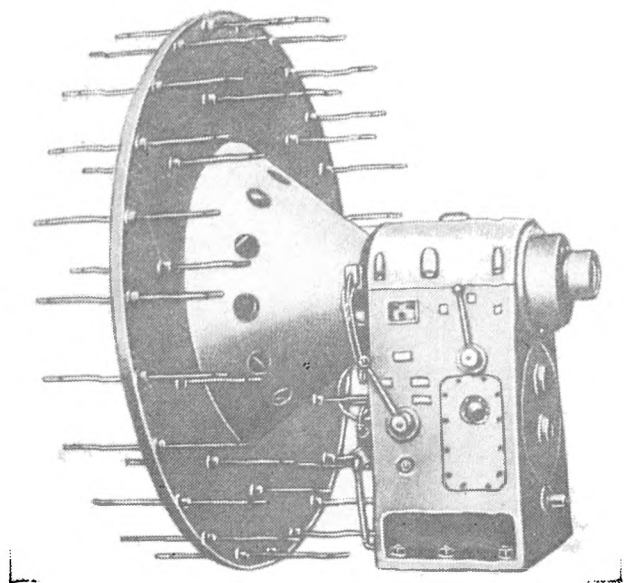


Рис. 14.3. Пряжеобмотчик.

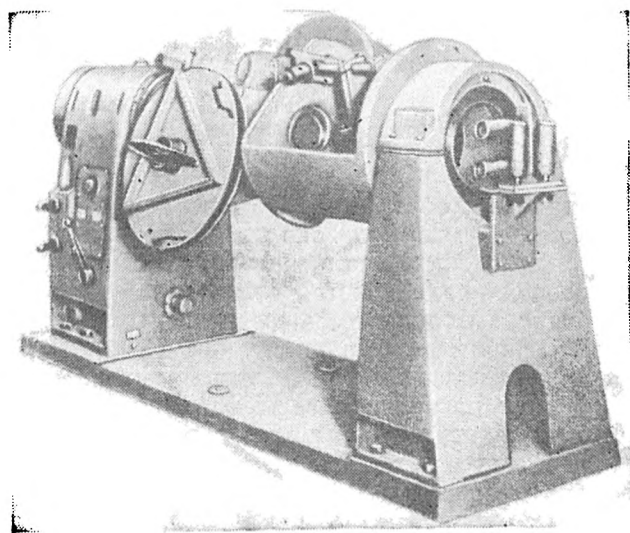


Рис. 14.4. Броннеобмотчик.

стабильности раствора полезно вспомогательный бак снабдить лопастной мешалкой. Кабель, покрытый меловым раствором, проходит через калибр, снимающий избыток раствора мела. Часто в качестве обычного калибра после меловой ванны применяется жгут из ткани, охватывающий кабель одним-двумя витками. Покрытие кабеля слюдяными чешуйками может производиться в нестандартном приспособлении, которое снабжено механизмом для перемешивания слюдяных чешуек и имеет удлиненную часть ванны для улавливания осыпающихся с кабеля чешуек.

Битумные ванны (рис. 14.6) представляют собой резервуары емкостью около 160 л с регулируемым масля-

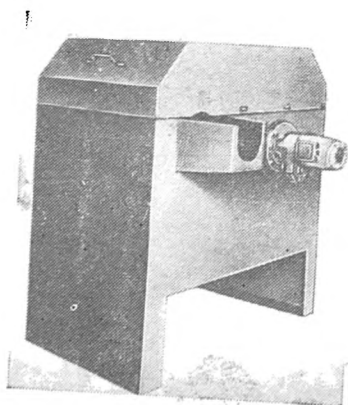


Рис. 14.5. Меловая ванна.

←

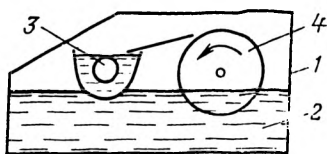


Рис. 14.6. Схема битумной ванны.

ным или паровым обогревом. Обычно корпус ванны 1 имеет рубашку емкостью около 100 л, заполняемую маслом с повышенной температурой вспышки паров, внутри которой размещаются электронагреватели закрытого типа. Мощность нагревательных элементов 25—30 кВт. Ванны закрываются кожухами, соединенными с вытяжной вентиляцией, так как при нагревании битума образуются вредные газы. Битум 2 в ванну подается в расплавленном виде из центральной битумной системы. В процессе работы необходимо следить за уровнем битума в каждой ванне и производить регулировку подачи битума. Кабель 3 проходит через ванну выше уровня битума в ней. Нанесение слоя битума происходит путем полива кабеля битумом, который подает-

ся к направляющему лотку с кабелем с помощью вращающегося диска 4. Для того чтобы слой битума был непрерывен по всей поверхности кабеля, шнеки или ролики в битумных коробках имеют индивидуальный привод. При этом битум поступает в направляющий лоток с кабелем даже в момент остановки машины. Для регулировки толщины битумного слоя по краям ванны устанавливаются калибры. Более плотное обжатие кабеля при выходе из битумной ванны обеспечивается при применении обогреваемых калибров.

Пропитка защитных покровов на бронировочной машине может производиться поливом как битумом, так и составами на основе битума повышенной вязкости.

Если на машине производится наложение негорючих защитных покровов, то последние две битумные ванны заполняются негорючим пропиточным составом на основе каменноугольного пека и совола.

Подача битума к бронировочным машинам осуществляется из битумохранилища, размещаемого на территории завода. Схемы подачи битума и загущающей присадки (если в этом есть необходимость) показаны на рис. 14.7. На завод битум (кабельная масса МКБ или битум марки БН-3,5) может поступать в битумовозах или в железнодорожных гондолах. Загущающая присадка поступает на завод в бочках. Для слива битума и загущающей присадки имеются приемные баки, находящиеся в павильоне, предохраняющем их от атмосферных осадков. Сливная труба из приемного бака до бака для хранения составов прокладывается в паровой «рубашке» с уклоном. Разогрев битума в баке для хранения производится при помощи стационарного змеевика, уложенного на дне. Для предохранения труб змеевика от ударов глыб битума предусматривается решетка.

Для хранения битума предусматриваются два или три подземных горизонтальных стальных бака объемом 50—75 м<sup>3</sup>, каждый с системой обогрева из секционных подогревателей. Приемный бак для присадки состоит из кантователя с обогревом для приема и слива из бочек присадки, а также воронки для приема присадки в емкости. Для хранения загущающей присадки необходимы два или три бака объемом по 1 м<sup>3</sup>, имеющих систему обогрева. Для забора битума и присадки из баков и перекачки их в цех к бронемашинам предусматривается насосная станция. Кроме того, с помощью насосов осу-

ществляется перемешивание битума в баках для предотвращения его застывания.

В качестве теплоносителя при разогреве битума в приемном баке, баках для хранения и обогревающих рубашках битумопровода используется насыщенный пар при давлении 0,6—1 МПа. При этом конденсат может быть использован для нужд заводских теплиц и т. п.

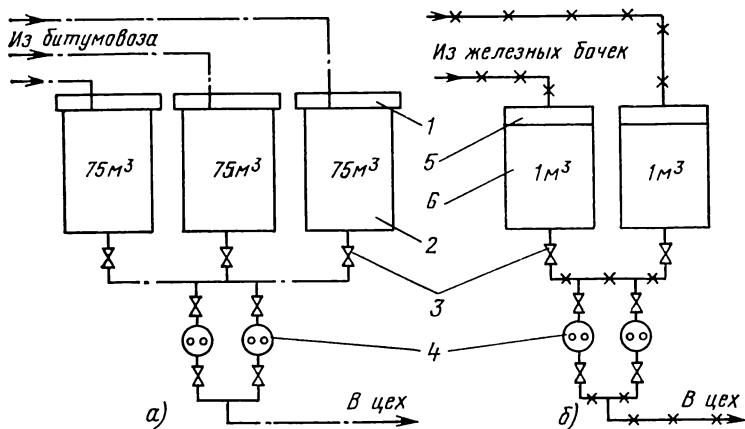


Рис. 14.7. Схемы хранения и подачи битума (а) и загущающей присадки (б) к бронировочному отделению цеха.

1 — приемные баки для битума; 2 — баки для хранения битума; 3 — вентили; 4 — насосы для перекачки битума и присадки; 5 — приемные баки для присадки; 6 — баки для хранения присадки.

Битум и загущающий состав периодически подаются в цеховые вертикальные баки объемом 2 м<sup>3</sup> (рис. 14.8), откуда битумная масса непрерывно, независимо от работы оборудования, подается к битумным ваннам бронемашин или к битумным ваннам агрегатов для наложения пластмассовых шлангов.

Смешение битума с загущающей присадкой (если в этом есть необходимость) происходит непосредственно в цеховых баках, которые оборудованы мешалкой с электроприводом и паровой рубашкой.

Тяговый механизм бронировочных машин обычно колесного типа (диаметр колеса до 3000 мм) с отводящим кольцом или ножом. Тяговое устройство гусеничного типа при наложении защитных покровов из волокнистых материалов с пропиткой битумом обычно не при-



меняется из-за сильного загрязнения его битумом и меловым раствором.

Приемное устройство обеспечивает равномерную намотку кабеля на приемный барабан с равномерным натяжением. Барабаны (деревянные или металлические) устанавливаются в пинолях, вращающихся в подшипниках качения. Приемные устройства укомплектовываются

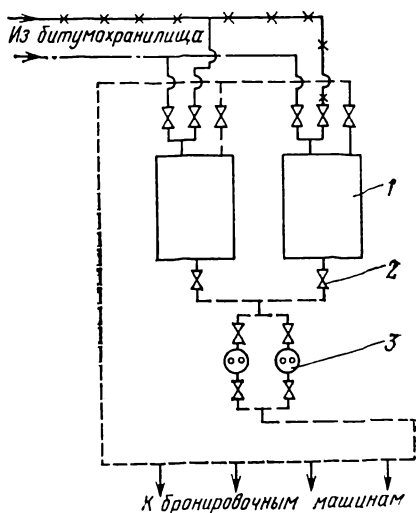


Рис. 14.8. Схема смешения битума с присадкой и подачи битумного состава в битумные ванны бронировочных машин.

1 — резервуары для битумного состава; 2 — вентили; 3 — насосы.

раскладочным приспособлением с плавной регулировкой шага раскладки.

Проволочнобронировочная машина имеет следующие основные части: отдающее устройство, битумные ванны, один-два пряжеобмотчика, одну-две крутильные клетки для наложения проволочной брони, меловую ванну, тяговое и приемное устройства.

Отдающее устройство проволочнобронировочной машины может быть таким же, как у лентобронировочной или универсальной машины, если диаметр барабанов с кабелем не превышает 3000 мм. Кабели, имеющие строительную длину больше, чем возможно принять на стандартный барабан (до 100 км), например подводные, укладываются в тенксах (баках) и по направляющим роликам поступают в бронировочную машину.

Битумные ванны, пряжеобмотчик для наложения подушки под проволочную броню, меловая ванна и тяго-

вое устройство в проволочнобронировочных машинах аналогичны соответствующим узлам лентобронировочных машин. В специализированных проволочнобронировочных машинах, например для изготовления грузонесущих кабелей, битумные и меловые ванны, а также пряжеобмотчики могут отсутствовать или не использоваться. Если по конструкции кабеля под проволочной броней предусмотрена лента из синтетических материалов, то перед клетью для наложения проволочной брони устанавливают бумагообмотчик.

Для наложения проволочной брони используются крутильные клетки. В зависимости от назначения кабеля на него накладывают один или два слоя проволочной брони. Для одновременного наложения двухслойной проволочной брони в составе проволочнобронировочной машины необходимо иметь две крутильные клетки, а для специализированного кабеля с однослойной броней — одну крутильную клетку.

В зависимости от диаметра проволоки, применяемой для бронирования кабеля, отдающие катушки могут иметь диаметр 400, 500 и 630 (600) мм. Для бронепроволоки диаметром 6 мм предпочтительно иметь отдающие катушки диаметром 630 (600) мм, так как на них помещается почти в 2 раза большая длина проволоки, чем на катушку диаметром 500 мм. Для проволоки диаметром 1,8 мм обычно применяют крутильные клетки с отдающими катушками диаметром 400 или 500 мм. Из-за меньшего диаметра клетки и ее массы частота вращения клетки с катушками диаметром 400 и 500 мм больше и соответственно производительность такой машины выше. В зависимости от диаметра бронируемого кабеля применяются крутильные клетки на 24, 48 и 54 катушки. При наложении брони из круглых проволок используются крутильные клетки с откруткой, а при наложении прямоугольной или сегментной (плоской) проволоки — без открутки отдающих катушек в клетки.

Крутильные клетки могут снабжаться приспособлениями для получения нераскручивающейся проволочной брони — преформаторами. Преформаторы обеспечивают стабильную предварительную деформацию стальных проволок перед наложением их на кабель. Такие приспособления применяются при бронировании грузонесущих кабелей.

В проволочнобронировочных машинах обычно применяются тяговые устройства колесного типа и стандартные устройства для приема бронированного кабеля на барабан. В специальных случаях, когда требуется применить барабан больших размеров, устанавливается приемное устройство требуемых габаритов. Прием кабеля в больших длинах производится в специальные тенксы (баки).

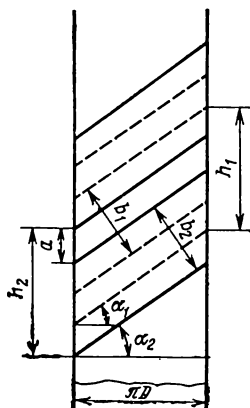


Рис. 14.9. Технологические параметры наложения ленточной брони.

## 14.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАЛОЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ БРОНЕПОКРОВОВ

Основные параметры наложения ленточной брони рассмотрены в § 4.1. Однако следует иметь в виду, что бронеленты обычно накладываются в два слоя с 50% -ным перекрытием, т. е. зазор первого слоя ленты находится примерно под серединой ширины верхней ленты. Если обозначить:  $b_1, \alpha_1$  — ширина ленты и угол подъема первого слоя брони, а  $b_2, \alpha_2$  — ширина ленты и угол подъема второго слоя брони, то между параметрами существуют следующие соотношения (рис. 14.9):

$$h = a + \frac{b_1}{\cos \alpha_1} = a + \frac{b_2}{\cos \alpha_2}; \quad (14.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{h}{\pi(D + \delta)}; \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= \frac{h}{\pi(D + 3\delta)}, \end{aligned} \right\} \quad (14.2)$$

где  $D$  — диаметр кабеля под броней.

При бронировании кабелей круглой проволочной броней основными параметрами являются те же величины, что и при скрутке проволок в жилу.

Соотношения между этими величинами имеют тот же вид, что и для случая скрутки круглых неуплотненных жил, когда круглые проволоки диаметром  $d$  с ша-

гом  $h$  накладываются на цилиндрическое основание диаметром  $D$ .

Так как наложение круглой проволочной брони производят так, чтобы суммарный просвет между проволоками не превышал одного диаметра проволоки, то количество этих проволок определяется из выражения

$$n = \frac{\pi(D+d)}{(1+k)d}, \quad (14.3)$$

где

$$k = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{m} \right)^2 \quad \text{а} \quad m = \frac{h}{D+d} \quad (\text{см. § 2.2}).$$

Например, для  $m=15$

$$n = \frac{\pi(D+d)}{1,022d}. \quad (14.4)$$

Формулы (14.3) и (14.4) справедливы и для сегментной брони, причем параметр  $d$  следует заменить величиной  $b$  — шириной сегментной проволоки. Тогда для плоской брони при  $m=12$

$$n = \frac{\pi(D+b)}{1,034b}. \quad (14.5)$$

### 14.3. ТЕХНОЛОГИЯ НАЛОЖЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРОВОВ

Для бронирования кабелей в зависимости от наружного диаметра и типа защитного покрова применяется ленточная броня толщиной 0,3 или 0,5 мм, проволочная плоская броня толщиной 1,5—1,7 мм и круглая проволочная броня диаметром 1,4—6 мм. Минимальная толщина подушки в зависимости от типа покрова и размеров кабеля находится в пределах 1,5—3,4 мм, а минимальная толщина наружного покрова составляет 1,9—3,0 мм.

Таблица 14.3

Диаметр кабеля по оболочке, мм	Ширина броне-ленты, мм	Диаметр кабеля по оболочке, мм	Ширина броне-ленты, мм
До 13	20	26—31	40
13—17	25	31—40	45
17—21	30	40—50	50
21—26	35	Свыше 50	60

Ленточная броня должна иметь защитное цинковое покрытие, если кабель не имеет наружного защитного покрова, в остальных случаях применяется обычная ленточная броня. Ширина бронеленты выбирается в зависимости от диаметра кабеля по оболочке (табл. 14.3).

При наложении двух бронелент используется 50%-ное перекрытие. Каждая бронелента накладывается с зазором 20—40% ширины ленты.

Шаг наложения проволоочной брони составляет от 8 до 15 диаметров кабеля по подушке. В одножильных силовых кабелях переменного тока стальные проволоки брони должны разделяться на четыре части или более проволоками из немагнитного материала, например медными, для уменьшения электрических потерь энергии в кабеле.

Направление наложения ленточной и проволоочной брони на кабель обычно выбирают левое. Линейная скорость бронирования выбирается в зависимости от вида брони и диаметра кабеля (табл. 14.4).

Таблица 14.4

Диаметр кабеля по оболочке, мм	Линейная скорость, м/мин		Диаметр кабеля по оболочке, мм	Линейная скорость, м/мин	
	минимальная	максимальная		минимальная	максимальная
<i>Ленточная броня</i>			50—54	14,0	19,9
До 13	8,2	10,9	54—60	14,0	17,5
13—15	9,0	12,5	Свыше 60	14,0	16,0
15—21	11,0	14,5	<i>Проволоочная броня</i>		
21—25	13,5	16,5	До 30	7,5	10,0
25—30	14,0	17,5	30—40	9,0	13,0
30—35	14,0	18,6	Свыше 40	10,0	14,0
35—45	14,0	18,0			
45—50	13,5	18,0			

Бумажные и синтетические ленты в защитных покровах накладываются с перекрытием не менее 10% ширины ленты (для бумажных лент и не менее 10 мм для синтетических). Ширина бумажных и пластмассовых лент, накладываемых на обмотчиках, зависит от диаметра кабеля и приводится в табл. 14.5.

Кабельная пряжа и штапелированная стеклопряжа накладываются с шагом не более  $14D$ , где  $D$  — диаметр

кабеля под слоем пряжи. Пряжа накладывается в один слой без просветов и перехлестываний.

Слой битума должен иметь минимальную толщину 0,25 мм. Температура битума в ваннах для наложения битума должна быть не выше 180°С, а температура негорючего состава — не выше 130°С.

Контроль качества наложения защитных покровов осуществляется как в процессе их наложения, так и на готовом изделии, которое проходит приемо-сдаточные,

Таблица 14.5

**Ширина бумажных и синтетических лент для защитных покровов**

Диаметр кабеля по оболочке, мм	Ширина бумажных и синтетических лент, мм, не более
До 17	40
17—20	60
20—30	70
Свыше 30	90

периодические и конструкторские испытания. Приемо-сдаточные испытания проводятся на каждой строительной длине кабеля. Сюда включается проверка конструкции покровов, их геометрических размеров путем визуального осмотра и выполнения соответствующих измерений толщин, диаметров, шагов и т. п. Кроме того, на каждой строительной длине для некоторых ти-

пов покровов производится испытание подушки постоянным напряжением 5 кВ или переменным 2 кВ частотой 50 Гц в течение 1 мин. Периодические испытания проводятся раз в три месяца или реже на двух-трех образцах, взятых от разных строительных партий. Эти испытания включают, например, проверку качества наложения брони путем изгибания отрезка кабеля вокруг цилиндра диаметром, равным 15-кратному диаметру кабеля. При этом верхняя лента брони не должна открывать зазоры между витками нижней ленты.

При периодических испытаниях проверяется содержание противогнилового состава в кабельной пряже и бумаге. Количество нафтеноата меди должно составлять не менее 4% массы пропитанной пряжи и бумаги. Определяется температура вытекания битума или негорючего состава, проверяется холодостойкость наружного покрова, его неспособность распространять горение. Большинство кабелей с защитными покровами при периодических испытаниях должно проходить последовательно испытание на истирание, изгиб и циклический нагрев в солевой ванне. После указанных испытаний

электрическое сопротивление покровов должно оставаться в установленных пределах.

Конструкторские испытания проводятся при разработке новых типов защитных покровов. Среди этих испытаний обязательны испытания в солевой ванне и проверка отсутствия взаимодействия между битумом или битумным составом и синтетическими материалами покровов.

#### 14.4. НАЛОЖЕНИЕ ПРОФИЛЬНОЙ [ГИБКОЙ] БРОНИ

Кабели, предназначенные для питания электродвигателей бестанговых нефтенасосов, должны иметь гибкую броню, выдерживающую многократный спуск их в скважину. Контрольные кабели, предназначенные для прокладки по сложной трассе с большим количеством переходов с малым радиусом, также изготавливают с гибкой броней. Гибкую броню применяют двух конструкций: круглую из предварительно профилированных лент, наложенных на круглый

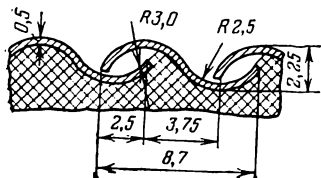


Рис. 14.10 Профиль гибкой ленточной брони круглого кабеля.

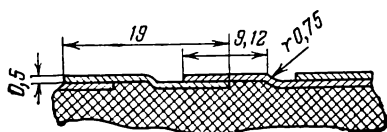


Рис. 14.11. Профиль гибкой ленточной брони плоского кабеля.

кабель в замок (рис. 14.10), и плоскую из предварительно профилированных лент, наложенных на три-четыре жилы, уложенные параллельно (рис. 14.11).

Машина для наложения профильной (гибкой) ленточной брони состоит из вращающегося диска — обмотчика, на котором укреплены ролики, профилирующие стальную ленту в форме буквы S для перекрытия нижнего витка (см. рис. 14.10). Имеются варианты бронировочных машин, когда оцинкованную стальную ленту толщиной 0,5 мм и шириной 10 мм предварительно наматывают на кассеты и размещают в накопителе машины. Когда лента с одной кассеты будет израсходована, кассету с помощью прорези в ней снимают с машины и на ее место устанавливают другую. Часть машин имеют кассету, соединенную с диском машины. После того как лента полностью израсходована, машину останавливают и включают кассету на намотку ленту скоростью, большей, чем при наложении брони. После наполнения кассеты диск-обмотчик переводят в режим профилирования ленты и наложения обмотки.

Наложение гибкой ленточной брони двойной ширины или профильной ленты на плоский кабель производят на одной и той же

машине, но заменяют профилирующие ролики. Для облегчения профилирования оцинкованной стальной ленты в профилирующих роликах в них непрерывно подают смазку.

В связи с заменой резиновой изоляции кабелей для нефтепугружных бесштанговых насосов на полиэтиленовую и исключением нефтестойких защитных покровов технология изготовления кабелей упростилась и возникла возможность совмещения скрутки изолированных жил в кабель и наложения гибкой ленточной брони.

## *Глава пятнадцатая*

# **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

## **15.1. ПЕРЕМОТКА ПОЛУФАБРИКАТА, ЗАГОТОВКИ И ГОТОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ**

Медную и алюминиевую проволоку, предназначенную для скрутки жил на сигарных, клетьевых и дисковых машинах, перематывают с приемных катушек волоочильных машин на отдающие катушки крутильных машин. Исключением является алюминиевая проволока, принимаемая на волоочильных машинах на отдающие катушки крутильных машин. В этом случае катушки с проволокой без перемотки устанавливают в люльки крутильных машин. Такая практика должна расширяться, даже в ущерб производительности волоочильных машин (прием проволоки на уменьшенную приемную тару). Оцинкованную стальную проволоку для сталеалюминиевых проводов и для проволочной брони подводных и грузонесущих кабелей, получаемую на барабанах и в бухтах, также перематывают на катушки крутильных или проволочнобронировочных машин. Оцинкованную или луженую стальную проволоку, получаемую в бухтах, обычно перематывают на металлические катушки сигарных машин или вспомогательные катушки, с которых затем производится тростка проволоки или ее использование на оплеточных или обмоточных машинах.

Производятся также: перемотка проволоки диаметром менее 0,10 мм с приемных катушек волоочильных машин на катушки емкостью до 0,5 кг, устанавливаемые в осевые отдающие устройства крутильных машин рамочного типа; перемотка с катушек волоочильных машин и с бухт на барабаны диаметром 1000—1200 мм с целью удлинения времени безостановочной работы агрегатов наложения пластмассовой или резиновой изоляции; перемотка проволоки с бухт на катушки или в контейнеры при высокоскоростном наложении пластмассовой изоляции.

Наиболее распространена перемотка изолированных жил кабелей, проводов и шнуров при испытании изоляции высоким напряжением на аппаратах сухого испытания (АСИ). Изолированные жилы чинят в местах пробоя изоляции. Перемотка жил с пропуском через АСИ совмещена с намоткой на отдающие катушки крутильных машин или приемом в бухты провода, предназначенного для поставки потребителям. Кроме того, перемотка кабелей и про-



водов производится с целью измерения их длины, а также контроля качества поверхности кабеля. Эта перемотка может сопровождаться починкой дефектов изоляции и оболочки.

Бухты монтажных проводов перематываются в бухты меньшей длины в связи с удалением участков с загрязненной или дефектной оплеткой. Процесс перемотки монтажных проводов обычно повторяется многократно до удовлетворения проводов требованиям государственных стандартов и технических условий.

Перемотку обмоточных проводов с эмалевой и волокнистой изоляцией производят выборочно (части катушек) для проверки наличия сплошного слоя изоляции или обеспечения ровной намотки проводов на катушке.

Перемотку медной, алюминиевой, стальной проволоки, изолированных жил на катушки крутильных машин производят на перемоточных машинах СКЕТ модели ДСМ 500 или ДСМ 630, оборудованных отдающим устройством с тормозом, который позволяет по окончании намотки проволоки заданной длины остановить отдающий барабан (катушку) без запутывания витков. Любая другая перемоточная машина обязательно должна иметь тормоз для остановки отдающей катушки. При перемотке изолированных жил кабелей или проводов сечением  $0,5 \text{ мм}^2$  и менее перемоточные машины (со встроенным АСИ или без него) оборудуют приспособлениями для исключения рывков и вытяжки жилы. Отдающее устройство этих машин оборудуют механизмом, разматывающим провод с барабана при заданной скорости, между отдающим и приемным барабанами (катушками) устанавливают компенсатор, регулирующий усилие натяжения и сглаживающий рывки. Схема такой перемоточной машины аналогична рис. 1.3. Применение подобных машин при перемотке жил кабелей и проводов малых сечений является обязательным условием сохранения их геометрических размеров и исключения обрывов и удлинения. Перемоточные машины для высокоскоростной намотки проволоки на отдающие катушки сигарных машин диаметром 200 мм и менее имеют безынерционные механизмы высокоскоростной размотки проволоки с катушек и намотки на приемные катушки при скорости до 1500 м/мин. Перемоточные механизмы оборудованы автоматами для остановки машины при сходе или обрыве проволоки.

Перемоточные машины для перемотки готового провода с отдающего барабана с пропуском через АСИ и счетчик длины оборудованы разъемной катушкой, на которую принимают провод. После снятия щеки этой катушки снимают бухту провода, которую затем перевязывают в нескольких местах. Обычный счетчик длины провода может быть заменен стоп-счетчиком (механическим или электронным), останавливающим приемную катушку при прохождении через счетчик заданной длины провода.

Перемоточные машины для перемотки кабеля с одного барабана на другой (с целью контроля качества оболочки, измерения длины и нахождения места контакта между жилами или обрыва жилы) оборудуют стандартными отдающими и приемными механизмами и дополняют необходимыми приборами или устройствами (счетчик длины, АСИ и др.).

Перемоточные машины для монтажных и обмоточных проводов с эмалевой и волокнистой изоляцией бывают и многоходовыми. В этом случае на общем столе монтируют 6—12 ходов отдающих и приемных устройств с механизмом раскладки (рис. 15.1). Для

создания определенного натяжения проводов в процессе их перемотки провод пропускают через направляющий ролик, установленный на раме, которая под действием пружины может изменять свое положение и поддерживать необходимое натяжение. Оси приемных катушек в зависимости от диаметра перематываемых проводов совершают до 1500—4000 об/мин. Отдающие катушки с проволокой устанавливают на оси в шарикоподшипниках или между центрами.

## 15.2. РЕЗКА БУМАГИ И ПЛЕНОК НА ЛЕНТЫ

Изоляционная кабельная бумага, а иногда и изоляционная пленка из синтетических материалов поступает на кабельные заводы в виде рулонов максимальным диаметром до 1000 мм и шириной до 1200 мм. Разрезание полотна бумаги или пленки на узкие

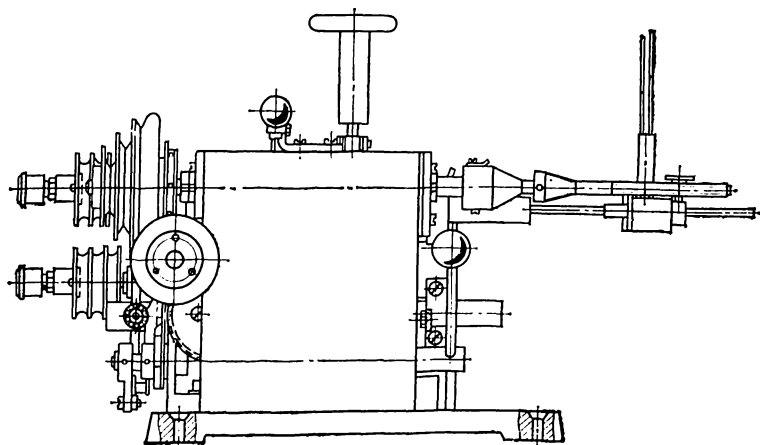


Рис. 15.1. Переметочные машины для перемотки обмоточных проводов.

ленты производится на бумаго- или пленкорезательных машинах. Принцип работы таких машин можно разобрать на примере бумагорезательной машины С1-04 или С4-04 (рис. 15.2). К приемному устройству машины подкатывается рулон бумаги 1 и устанавливается так, чтобы ось рулона совпала с конусами приемного устройства, после чего конусы вводятся во втулки рулона и закрепляются. Далее с помощью механизма перемещения бумажного рулона 10 последний поднимается на 50—100 мм от пола. Бумажное полотно, сматываясь с рулона, проходит через систему бумаговедущих валов и направляется к двухдисковому ножевому устройству 5, 6. Разрезанные полосы бумажной ленты наматываются на гильзы диаметром около 90 мм. В процессе резки автоматически поддерживается постоянное натяжение бумажного по-

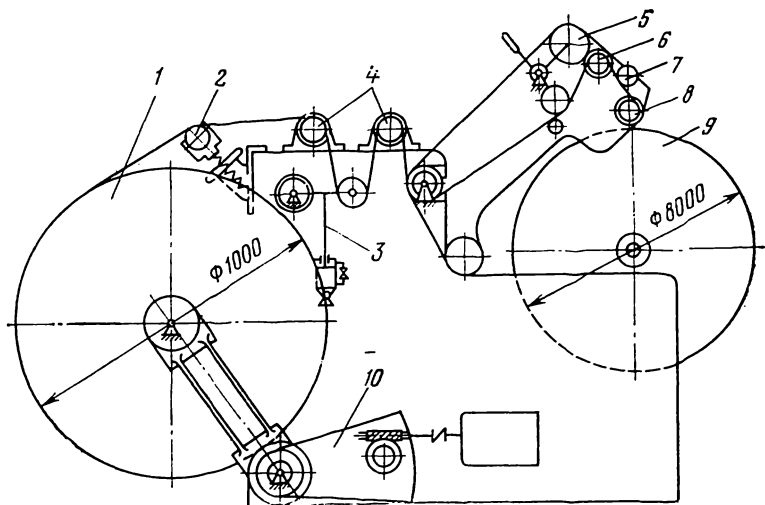


Рис. 15.2. Принцип устройства машины для резки кабельных бумаг.

1 — бумажный рулон; 2 — вал правки бумажного полотна; 3 — механизм регулировки натяжения бумажного полотна; 4 — бумаговедущие валы; 5 — верхний нож; 6 — нижний нож; 7 — расправочный валик; 8 — прижимной валик; 9 — бумажный ролик; 10 — механизм перемещения бумажного рулона.

лотна и бумажных лент. Процесс намотки лент ведется с переменной скоростью. Вначале намотка ведется на меньшей скорости, а затем доводится до максимальной (около 500 м/мин). При достижении скорости бумажного полотна выше максимальной происходит автоматическое ограничение ее с помощью центробежного регулятора. По окончании намотки роликов машина автоматически выключается. Ножевое устройство двухдискового типа состоит из верхнего вала с насаженными на него дисковыми ножами и нижнего вала, на котором устанавливаются круглые ножи и прокладочные кольца. Требуемая ширина ленты устанавливается соответствующим набором колец и ножей. Для удобства заправки бумажного полотна верхний вал механизма поднимается вверх с помощью рукоятки. Кроме двухдискового ножевого устройства в бумаго- и пленкорезательных машинах находят применение однодисковые ножевые устройства (рис. 15.3). В этом случае нижний вал гладкий и резка осуществляется круглыми ножами, размещенными на верхнем валу.

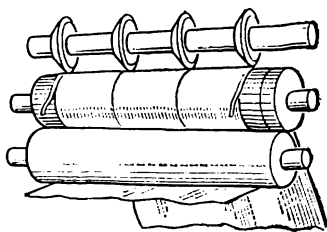


Рис. 15.3. Однодисковое ножевое устройство машины типа «Рapid» (ФРГ).

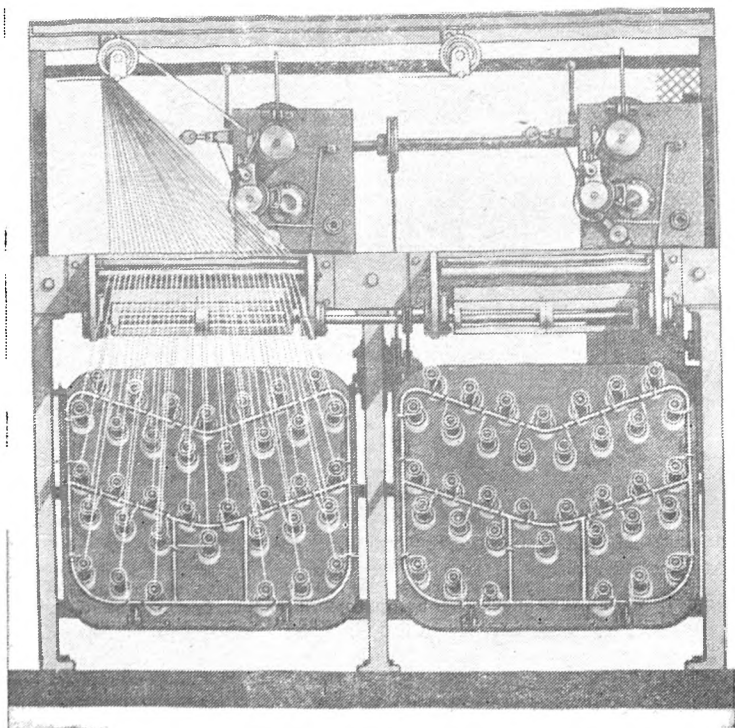


Рис. 15.4. Тростильная машина.

### 15.3. ТРОСТКА НИТЕЙ И ПРОВОЛОК

Процесс тростки представляет собой намотку на катушки пряжи, состоящей из плоскопараллельных одиночных нитей или проволоки. Тростка нитей необходима для образования прядей, используемых затем при обмотке или оплетке проводов. Тростка проволоки производится с целью получения прядей, используемых для наложения оплетки кабелей, проводов и шнуров. Тростка отдельных нитей в прядь и намотка их на бобину или тростка проволок на катушки производится на тростильных машинах (рис. 15.4).

Принцип действия тростильной машины показан на рис. 15.5. Нити с отдающего устройства через направляющие крючки поступают на колодку, обтянутую сукном или фетром и предназначенную для очистки пряжи и торможения. Затем нити проходят через крючки автомата, реагирующие на обрыв или сход, и направляющие ролики к втулке водилки, которая крестообразно укладывает нить на патрон, находящийся на шпинделе головки машины. Обыч-

но водилка получает возвратно-поступательное движение, необходимое для крестообразной намотки, от эксцентрика, расположенного внутри корпуса тростильной машины. Бобина с крестообразно намотанной натрошенной пряжей показана на рис. 15.6.

Для тростки в прядь нескольких натуральных или синтетических нитей, синтетического волокна и намотки пряди на цилиндрическую гильзу (патрон) в отечественной практике наиболее часто используются тростильные машины марки Т-120 или Т-120М.

Машины марки Т-120 имеют шесть ходов. От главного вала, расположенного в нижней части машины, через шкив и ременную передачу вращение передается валику, затем эксцентрику. Профиль эксцентрика определяет ход водилки, а следовательно, и длину на-

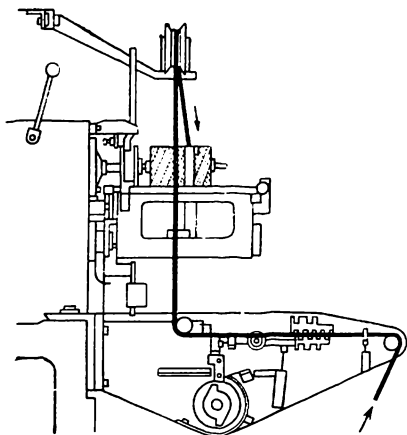


Рис. 15.5. Принцип действия тростильной машины.

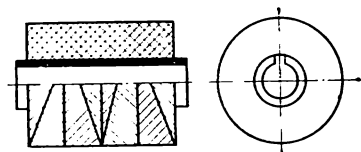


Рис. 15.6. Бобина пряжи с крестообразной намоткой.

матываемой бобины. Каждый ход тростильной машины может быть использован для работы при неработающих остальных. Машина снабжена автоматом, реагирующим на обрыв или сход нити, который останавливает машину также при достижении в процессе тростки заданного диаметра бобины. На машине Т-120 одновременно страшивается до 36 нитей; частота вращения шпинделя 400—1200 об/мин, максимальный диаметр бобины 154 мм, длина бобины от 10 до 120 мм.

Машина марки Т-120М двухходовая. Применение в машине гребенчатого устройства для обеспечения натяжения нити и гарнитуры из ситалла обеспечивает улучшение качества выпускаемой продукции.

Известны одноходовые тростильные машины марок ПН-25 и ПН-50 производства ПНР. Общий вид тростильной машины ПН-25 показан на рис. 15.7. Машина предусматривает возможность набора ходов. Средняя производительность машины до 10 бобин/ч. Максимальное количество нитей в пряди 25, частота вращения шпинделя 1700 об/мин. Крестообразная намотка пряжи осуществляется с помощью кулачкового механизма. Тростильная машина марки ПН-50 позволяет наматывать до 20 бобин/ч. Приемная катушка устанавливается на хвостовик вала, закрепленного в подшипниках и качающейся консоли, и может поэтому приближаться к кулачку

или удаляться от него. Вращающийся кулачок играет роль раскладчика. Нити при тростке проходят через тормозящее устройство и гребенку, связанную с автоматом на обрыв или сход нити.

Для тростки медной и медной луженой проволоки используются отечественные тростильные машины марок ТП-100/4 (проволока диаметром 0,12—0,20 мм) и ТС-2 (проволока диаметром 0,20—0,30 мм). Приходящая на смену тростильная машина марки МТП предназначена для тростки мягкой и твердой металлической проволоки диаметром 0,10—0,50 мм. Машина двухходовая. Так как количество отдающих катушек 12, то при тростке в прядь 11 или 12 про-

волоков работает одно приемное устройство. Заданное натяжение каждой проволоки поддерживается во время работы автоматически. При наполнении приемной катушки машина также автоматически останавливается. Привод приемных катушек индивидуальный, частота вращения приемных катушек 500—3000 об/мин, ширина раскладки до 120 мм. На отечественных кабельных заводах также широко используются тростильные машины типа 5010 и 5020 производства ГДР, на которых производится тростка стальной проволоки. Эти машины предназначены для стальной проволоки диаметром 0,1—0,4 мм и имеют бесступенчатую регулировку скорости. На таких машинах производится намотка проволоки на шпули, используемые для оплетки проводов. Максимальное число проволок, наматываемых на шпули на машине типа 5020, равно 12. Эти тростильные машины снабжены автоматами на обрыв и сход проволоки, срабатывающими также при намотке проволоки определенной длины.

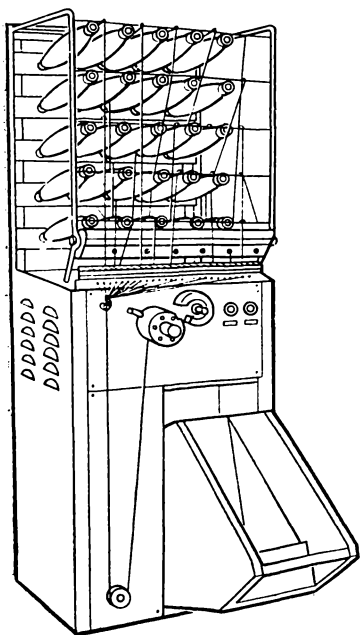


Рис. 15.7. Тростильная машина марки ПН-25 (ПНР) для нитей.

медной проволоки и пряжи. Машины выполнены четырехходовыми. Две—четыре проволоки с отдающих катушек через направляющие ролики поступают на водилку, с помощью которой прядь проволок раскладывается на катушку оплеточной машины. После достижения заданного диаметра проволоки, намотанной на катушку, механизм машины автоматически освобождает заполненные проволокой катушки, которые по лотку поступают в ящик, а на место заполненной катушки автоматически из наполнителя устанавливается пустая катушка и цикл тростки продолжается. За счет применения повышенной емкости отдающих катушек с про-

Тростильные машины фирмы «Хакоба» (ФРГ) предназначены для автоматической тростки медной, луженой и посеребренной

волокой обеспечивается длительная безостановочная работа автоматической тростильной машины.

Рекомендуемые размеры бобин и шаг намотки для различных волокнистых материалов приведены в табл. 15.1. Скорость тростки хлопчатобумажной пряжи составляет 200—250 м/мин, натурального шелка и синтетических волокон 500—100 м/мин.

Таблица 15.1

**Рекомендуемые размеры бобин и шаг намотки для различных волокнистых материалов**

Виды волокон	Размеры бобин, мм		Максимальный шаг намотки, мм
	Длина намотки	Максимальный наружный диаметр	
Натуральный шелк	30—90	80	30
Хлопчатобумажная пряжа	50—90	110	45
Волокно капрон	30—90	80	30
Волокно лавсан	30—90	80	30
Стекловолокно:			
для обмотки проводов диаметром до 0,40 мм	35—40	70	25
для обмотки проводов диаметром 0,41 мм и выше	40—50	110	30—50
для проводов прямоугольного сечения	50—80	120	80

Крючки автоматов остановки машины при обрыве нитей должны быть диаметром 0,8—1,0 мм при тростке натурального шелка, синтетических волокон и хлопчатобумажной пряжи. В случае тростки синтетических волокон чистильная тормозная колодка вместо сукна или фетра должна быть покрыта кабельной бумагой или другим материалом, имеющим гладкую поверхность. Бобины с трощеными нитями должны быть ровными, не иметь торцевой выпуклости и перехлестов нитей с торцов. Конец пряди на трощеной бобине должен быть закреплен, а при обрыве и сходе нити конец ее присоединяется только к одной нити. Связка всей пряди узлом недопустима во избежание образования местных утолщений изоляции на поверхности провода.

Рекомендуемые технологические режимы тростки проволоки приведены в табл. 15.2. При трощении проволоки направляющие ролики должны быть изготовлены из инструментальной стали не ниже марок У-10, У-8 твердостью 58—62 единиц по Роквеллу и иметь полированную рабочую поверхность. Параметр шероховатости направляющих роликов должен быть не более 0,63 мкм. Напряжение всех проволок в пряди должно быть одинаковым. Максимальное допустимое напряжение в проволоке при тростке  $P_{max}$  зависит от диаметра проволоки и равно  $0,3P$ , где  $P$  — разрывная прочность отдельной проволоки. Коэффициент 0,3 представляет собой коэффициент запаса. Расстояние между верхним рядом тро-

### Типовые технологические режимы тростки медной и медной луженой проволоки

Тип оборудования	Диаметр проволоки, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин	Число проволок в пряди	Средний диаметр катушки после намотки, мм	Средняя масса проволоки на катушке, г	Линейная скорость, м/мин
ТН-100/4	0,12—0,13	1000	3—4	24	330	100±5
	0,15—0,20	1200	3—6	34—50	330	100±5
ТС-2	0,20—0,30	500	3—5	55	1800	85±5

щенной проволоки и краем щеки катушки должно быть не менее 3 мм. При обрыве или сходе одной проволоки обрывается вся прядь. После ее закрепления петель катушка снимается с приемного устройства.

## 15.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Кабельные заводы, выпускающие кабели, провода и шнуры с резиновой изоляцией, имеют, как правило, собственные резино-подготовительные цехи, в которых изготавливается резиновая смесь нужной рецептуры. Как известно, резиновая смесь, предназначенная для изоляции или оболочки кабелей и проводов — это многокомпонентный материал, состав которого сильно варьируется в зависимости от назначения. Различают резиновые смеси с высокими изоляционными или физико-механическими свойствами, нагревостойкие или холодостойкие, стойкие к различным агрессивным средам, жесткие или пластичные, с ускоренным временем вулканизации и т. п. Все это разнообразие свойств определяется видом и соотношением ингредиентов смеси, а также существенно зависит от способа их предварительной обработки, точной дозировки, правильной последовательности и качества смешения и последующей обработки полученной резиновой смеси.

Указанные операции осуществляются в резиноподготовительных цехах или участках кабельных заводов.

Технологический процесс изготовления резиновых смесей состоит из следующих операций: подготовки материалов, транспортировании обработанных материалов к весам; дозировании материалов; введении материалов в резиносмеситель; смешении и дополнительной обработке резиновых смесей.

Подготовка каучуков заключается в распарке, резке, пластикации и фильтрации.

Распарка натурального и хлоропренового (наирита) каучуков производится в стационарной камере с принудительной циркуляцией горячего воздуха при 75—80°C. Время нагрева натурального каучука в зависимости от температуры, при которой он хранился, находится в пределах от 8 до 36 ч: при температуре хранения свыше 5°C — от 8 до 16 ч, при температуре хранения до



5°C — от 16 до 36 ч. Время нагрева хлоропренового каучука 1,5—2 ч при температуре хранения до 5°C.

Нагретый натуральный каучук разрезается ножом с пневматическим или гидравлическим приводом на куски массой не более 15 кг. Нож должен обеспечивать усилие резания до 700—1000 кН. Резка хлоропренового каучука производится механическим ножом гильотинного типа, а различные виды синтетических каучуков режутся на куски массой не более 15 кг.

Пластикация натурального каучука производится в резино-смесителе при 120—140°C с добавлением каптакса (0,2 ч. на 100 ч. каучука) в течение 6—10 мин или без каптакса при 100—120°C в течение 8—12 мин. Дополнительная пластикация натурального каучука производится на листовальных вальцах при 50—70°C в течение 3—5 мин.

За счет воздействия повышенной температуры и разнообразных механических деформаций (сдвига, сжатия, растяжения и др.), возникающих при обработке каучука в камере резиносмесителя или между валками, происходит частичная деструкция (разрыв длинных полимерных молекул) каучука, сопровождающаяся уменьшением его жесткости и соответственно увеличением пластичности.

После пластикации натуральный каучук подвергают фильтрации через три стальные сетки по ГОСТ 4601-73 или ГОСТ 12184-66 следующих номеров: две сетки № 09 или № 063 и одну сетку № 045 — для последующего применения в шланговых смесях; одну сетку № 09 или № 063, одну сетку № 045 и одну сетку № 028 — для последующего применения в изоляционных смесях.

Допускается применение латунных сеток указанных номеров. Если каучук пластицировался с отделенными упаковочными листами, то он операции фильтрации не подвергается. Пластицированный натуральный каучук хранится в виде рулонов, опудриваемых мелом или тальковой пастой, на стеллажах или поддонах от 8 до 24 ч.

Подготовка порошкообразных материалов (мел, тальк, каолин) заключается в сушке и просеве. Если сепарированный или химический мел к моменту пуска в производство имеет влажность свыше 0,5%, то он подвергается сушке в струе подогретого воздуха в специальных сушилках аэрофонтанного типа. При относительно небольшой потребности в меле допускается применение роторных или червячных сушилок непрерывного действия с электрическим обогревом.

Просев наполнителей (мел, тальк, каолин) осуществляется на воздушных сепарационных установках. Качество сепарации должно обеспечивать полное прохождение готового продукта через сетку № 016. Допускается просев на центробежных сепараторах через капроновую ткань № 38 по ОСТ 17-46-71 или латунную сетку № 016 по ГОСТ 3584-73. Просев порошкообразных материалов, применяемых в малых количествах и поступающих в негранулированном виде, производится на сепараторах щеточного типа через капроновую ткань № 38. Допускается просев через латунные сетки следующих материалов: серы — № 028; ускорителей и противостарителей — № 018; красителей — № 016.

Подготовка мягчителей (парафин, мягчитель ПП и другие воскоподобные материалы) заключается в расплавлении в камерах для разогрева твердых мягчителей с электрическим, па-

ровым или водяным обогревом и фильтрации через стальную или латунную сетку № 016 при температуре расплава 80—90°С. Жидкие мягчители и пластификаторы фильтруются через такую же сетку без предварительного нагрева.

Канифоль и другие смолоподобные материалы подвергаются дроблению в молотковой дробилке и грубому просеву через стальную или латунную сетку № 25 в центробежной сепараторе. Если канифоль, смола СФ-010А, диафен ФП поступают в виде чешуек, то они операциям дробления и просева не подвергаются.

Стеариновая кислота и специальные нефтяные битумы предварительной подготовке не подвергаются. Распаковка этих материалов производится непосредственно перед операцией взвешивания.

Каучуки всех типов подаются к весам внутрицеховым транспортом в контейнерах. Мел, тальк, каолин, графит должны транспортироваться к навесным бункерам при помощи вакуумной пневмосистемы. На трассах небольшой длины возможно применение ковшовых элеваторов и червячных транспортеров с последовательным расположением секций. Для каждого материала применяют отдельную линию. Расплавленные и жидкие мягчители и пластификаторы подаются в бачки, расположенные над весами, по трубопроводам. Все остальные порошкообразные материалы, а также измельченные смолы транспортируются к весам в контейнерах при помощи электрогрузчика. Стеариновая кислота и нефтяные битумы подаются к весам в упаковке предприятия-изготовителя.

Взвешивание каучуков всех типов осуществляется централизованно при помощи полуавтоматических весов с последующей доставкой готовых навесок к резиносмесителям в контейнерах. Допускается ручная развеска каучуков непосредственно у резиносмесителя на полуавтоматических весах. Взвешивание порошкообразных наполнителей, технического углерода (сажи) различных марок, графита, активаторов, а также жидких и расплавленных мягчителей производится автоматическими весами, установленными над каждым резиносмесителем. Для технического углерода (сажи) предусматриваются отдельные весы, которые используются также для взвешивания графита. Вулканизующие материалы, ускорители, смолы и другие материалы, не подлежащие автоматическому дозированию, развешиваются вручную на безгиревых весах циферблатного типа или настольных весах.

Смешение каучуков и остальных ингредиентов резиновых смесей производится в закрытых резиносмесителях (рис. 15.8), в которых под давлением при определенной температуре компоненты тщательно перемешиваются с целью получения однородной смеси. Это смешение осуществляется роторами неправильной формы и вращающимися с различными частотами, в результате чего внутри резиносмесителя создаются разнообразные скорости потока перемешиваемой смеси. Это способствует лучшему перемешиванию компонентов, разрушению отдельных образующихся комков, своеобразному втиранию одного слоя смеси в другой.

На качество полученной смеси существенное влияние оказывают последовательность и способы введения отдельных компонентов в камеру смесителя. Каучук и все материалы, поступающие с автоматических весов, загружаются в резиносмеситель герметизированным ленточным транспортером через загрузочную воронку.

Порошкообразные наполнители вводятся через отверстие в задней стенке загрузочной воронки, если резиносмеситель специализи-

рован для смешения только изоляционных или только шланговых смесей. Если резиносмеситель используется для изготовления смесей обоих типов, то порошкообразные наполнители должны подаваться через загрузочную воронку герметизированным ленточным транспортером.

Технический углерод (сажа) разных марок и графит загружаются через отверстие, расположенное в задней стенке загрузочной воронки. Расплавленные и жидкие компоненты смеси вводят непосредственно в камеру смесителя при помощи инжектора или насоса высокого давления.

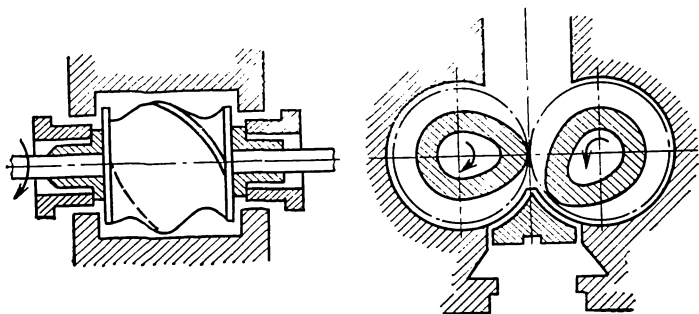


Рис. 15.8. Схема камеры резиносмесителя.

Резиновые смеси, поступающие на вторую стадию смешения, загружаются в резиносмеситель ленточным транспортером. Допускается ручная загрузка материалов в резиносмеситель.

Смешение и дополнительная обработка кабельных резиновых смесей производятся по одному из двух способов: смешение в резиносмесителе, обработка на вальцах, фильтрование (кроме смесей на основе хлоропренового каучука), обработка на вальцах, охлаждение, введение вулканизирующих материалов в резиносмесителе, обработка на вальцах, охлаждение или смешение в резиносмесителе, обработка на вальцах, фильтрование (кроме смесей на основе хлоропренового каучука), обработка на вальцах, введение вулканизирующих материалов на вальцах, каландрование. Такие операции как смешение, обработка на вальцах (листова-ние), фильтрование, дополнительная обработка на вторых вальцах, производятся по одним и тем же режимам для обоих упомянутых способов.

Для смешения применяются резиносмесители типов РС250-30, РС250-20 с объемом рабочей камеры 250 дм<sup>3</sup> и частотой вращения роторов соответственно 30 и 20 об/мин. Фрикция (соотношение скоростей роторов одного смесителя) в этих смесителях 1:1,18. Применяются также резиносмесители типов РС-2 и РС № 11. В смесителях типов РС250-30 и РС250-20 смешение осуществляется при повышенном давлении, в смесителях РС-2 и РС № 11 — при нормальном давлении.

В качестве примера приведем режимы первой стадии смешения: изоляционные смеси марок ТСШ-30А, ТСШ-35А, ПИ-35 загружаются в резиносмеситель РС250-30 массой 250 кг в следующей после-

довательности: каучуки, мелкие навески, мел, мягчитель ПП или парафин; закрывается верхний затвор и происходит перемешивание в течение 5,5 мин; затем смесь выгружается и переходят к следующему замесу; начальная температура камеры 80—90°C, температура выгружаемой смеси 110—120°C, общее время смешения, включая выгрузку, 6,5 мин. Изоляционные смеси марок ТСШ-30А, ТСШ-35А загружаются в резиносмеситель РС-2 (РС № 11) массой 250 кг в следующей последовательности: каучуки, мелкие навески, 50% мела, 50% мягчителя ПП или парафина, после чего закрывается верхний затвор и происходит перемешивание смеси в течение 5 мин при начальной температуре камеры 80—90°C; затем загружаются оставшиеся 50% мела и 50% мягчителя ПП или парафина и происходит перемешивание еще в течение 4 мин, после чего смесь выгружается и осуществляется переход к следующему замесу; общее время смешения, включая выгрузку, 10 мин, температура выгружаемой смеси 100—110°C.

Шланговая резиновая смесь марки ШН-40 загружается в резиносмеситель РС250-30 массой 230 кг в следующей последовательности: полихлоропреновый каучук (наирит), мелкие навески, каолин, мел, технический углерод (сажа), дибутилфталат, парафин; закрывается верхний затвор и смесь перемешивается в течение 8 мин при начальной температуре камеры смесителя 70—80°C; затем происходит выгрузка смеси; общее время смешения, включая выгрузку смеси, 9 мин, температура выгружаемой смеси 100—110°C. При смешении, например, этой же смеси ШН-40 в смесителе РС-2 или РС № 11, введение сажи происходит в две стадии; сначала 25%, затем 75% и парафин. Общее время смешения увеличивается до 11 мин. Выгруженная из резиносмесителя наиритовая смесь проходит операцию листования на листовальных вальцах в течение 3—4 мин при температуре валков 40—50°C, остальных резин — 60—70°C.

Вальцы (рис. 15.9) представляют собой устройство, в котором два вала, оси которых расположены в горизонтальной плоскости, вращаются навстречу друг другу, причем скорости их несколько отличаются. Вальцы используются главным образом для листования резиновых смесей, а также могут использоваться для нагрева смеси, смешения различных частей смеси, пластикации смеси и т. д. Например, для нагрева резиновых смесей применяются

вальцы ЦД2130  $\frac{660}{660}$  с двумя валками, длина рабочей части которых 2130 мм, диаметр рабочей части валков 660 мм, рабочая скорость переднего вала 28,0 м/мин, заднего 34,2 м/мин, фрикция между валками 1,22, производительность 140 л/цикл.

С листовальных вальцов резиновые смеси срезаются в виде непрерывной ленты и ленточным транспортером подаются для фильтрования в фильтр-прессы. Такой операции обычно подвергается большинство резиновых смесей. Исключение составляют смеси на основе хлоропренового каучука.

Фильтр-пресс (рис. 15.10) представляет собой червячный пресс, в головке которого размещены сетки для фильтрования резиновой смеси. Эта операция имеет целью устранение возможных неоднородностей (комков), образовавшихся в процессе смешения и ухудшающих однородность, а следовательно, и физико-механические и электроизоляционные характеристики смесей. Применяются

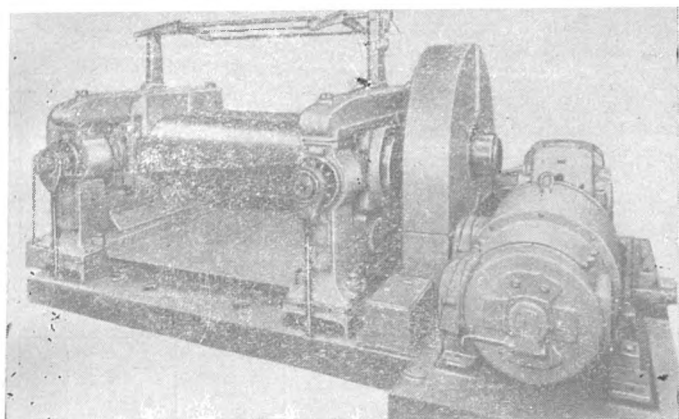


Рис. 15.9. Вальцы.

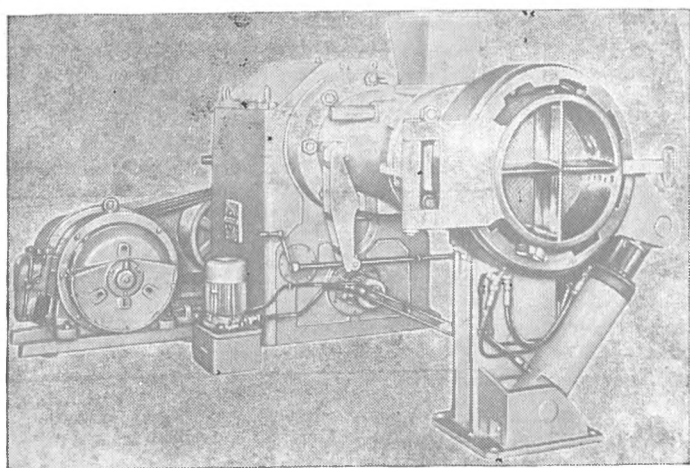


Рис. 15.10. Фильтр-пресс.

фильтр-прессы с червяками диаметром 380/450 и 300/380 мм. Режимы фильтрации основных изоляционных и шланговых смесей приведены в табл. 15.3.

Выходящая из фильтр-пресса резиновая смесь передается ленточным транспортером на листовальные вальцы, с которых сразу же срезается в виде непрерывной ленты толщиной 6—10 мм и шириной около 600 мм.

Таблица 15.3

### Режимы фильтрации резиновых смесей

Марка смеси	Фильтрующие сегки		Температура, °С			
	Количество	Номер	в момент пуска фильтр-пресса		в процессе работы	
			Головка	Корпус	Головка	Корпус
ТСЦ-30А	1	2	70—80	40—50	70—80	30—35
ТСЦ-35А	1	09				
	1	045				
	1	028				
ШБМ-40А	1	2	80—90	50—60	70—80	30—35
ШБТМ-40А	2	09	80—90	50—60	70—80	30—35
ШТМС-45,	1	045	80—90	50—60	70—80	30—35
ШВП-50						

В соответствии с порядком первого способа смешения и дополнительной обработки полученная лента поступает для охлаждения в охлаждающую установку водой при 8—20°С и затем проходит через бак с мыльно-стеариновой эмульсией, в состав которой входит 4% хозяйственного мыла, 2% технической стеариновой кислоты и 94% воды. После охлаждающей установки осуществляется приемка резиновой смеси маятниковым укладчиком или устройством для резки и укладки в контейнеры. Контейнеры или поддоны с резиновой смесью транспортируются с помощью электропогрузчика на склад.

Резиновые смеси, содержащие натуральный каучук, хранятся на складе до передачи на вторую стадию смешения, во время которой в смесь вводят вулканизирующие материалы. В соответствии с режимом второй стадии смешения в смесителе РС250-20 происходит загрузка 250 кг смеси в камеру смесителя с начальной температурой 60—70°С, закрытие верхнего затвора и перемешивание в течение 1 мин, затем вводится вулканизирующее вещество и в течение 1 мин происходит смешение. Общее время, включая выгрузку смеси, 3 мин, температура выгружаемой смеси 80—90°С. В смесителе РС-2 (РС № 11) общее время смешения составляет 4 мин.

Выгруженная готовая наиритовая смесь последовательно обрабатывается на двух листовальных вальцах в течение 2 мин при температуре валков 40—50°, а остальные смеси — при 50—60°С. Подача смеси от резиносмесителя на первые и затем вторые вальцы осуществляется с помощью ленточных транспортеров.

Готовая смесь затем охлаждается водой при 8—20°C в охлаждающей установке, а затем в виде лент, свернутых в рулон, или уложенная в виде пластин в контейнер подается на склад для хранения резиновых смесей.

По второму способу смешения и дополнительной обработки резиновая смесь после смешения в резиномесителе, обработки (листовая) на вальцах, фильтрования и второй обработки (листования) на вальцах подается на третьи (питательные) вальцы, предназначенные для введения вулканизирующих материалов и питания каландра.

Режим введения вулканизирующих компонентов на вальцах в этом случае следующий: загрузка смеси (2 мин), введение вулканиза-

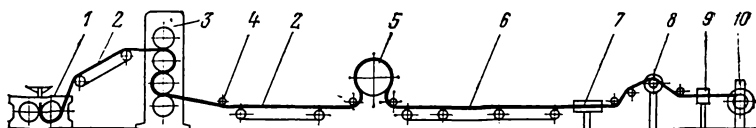


Рис. 15.11. Схема каландра.

1 — вальцы; 2 — промежуточный транспортер; 3 — каландр; 4 — направляющий валик; 5 — охлаждающий барабан; 6 — основной транспортер; 7 — опудривающее устройство; 8 — устройство для резки полотна; 9 — гребенка; 10 — приемное устройство.

торов (2—3 мин), срезание смеси с валков (1 мин). Температура валков 35—40°C при разогреве смесей на основе хлоропренового каучука и 60—70°C — остальных резиновых смесей.

С третьих (питательных) вальцов смеси срезаются сдвоенными ножами и в виде полотна поступают по транспортеру в каландр (рис. 15.11).

Каландрование резиновых смесей производится с целью получения резинового полотна или ленты заданной толщины. Температура валков каландра при каландровании резиновых смесей марок ТСШ-35, ТСШ-30А, ПИ-35, ШВП-50, ШВТМ-40А, ШБМ-40А, ШТМС-45 составляет: выносного и верхнего 60—70°C, среднего 70—80°C, нижнего 15—20°C. При каландровании смесей марок ШН-40 и ШН-50 (на основе хлоропренового каучука) температура выносного и верхнего валков равна 40—50°C, среднего 45—55°C, нижнего 15—30°C. Каландрованное полотно охлаждается пропусканием через одну-две полосы барабана с водяным охлаждением. Температура воды не должна превышать 12°C, давление 0,3—0,4 МПа.

После охлаждения полотно срезается в виде лент определенной толщины и ширины. Производится также одностороннее опудривание каландрованного полотна мелом или тальком, излишки которых для равномерного распределения пудровочного материала снимаются с помощью круглых вращающихся щеток.

Каландрованные смеси массой не более 250 кг принимаются в контейнеры и подаются на склад для хранения резиновых смесей или к экструдерам для их питания резиновой смесью.

В процессе подготовки материалов, смешения и обработки резиновых смесей регулярно осуществляется контроль качества исходных материалов, качества их очистки и взвешивания. Осуществляется контроль состояния и смена сеток. Резиновые смеси проверяются на отсутствие посторонних включений, запрессованных и подвулканизованных кусочками резины. Периодически контролируются температурные режимы указанных выше операций.

## 15.5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОПИТКА МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРОВОВ

В процессе эксплуатации оплетка проводов, выполненная из хлопчатобумажной пряжи, и защитные покровы кабелей подвергаются воздействию микроорганизмов, вызывающих либо поверхностное обрастание плесневыми грибами, либо бактериальное разрушение (гниение) защитных покровов.

Для предохранения хлопчатобумажной оплетки проводов и кабельной пряжи от гниения применяется пропиточный состав СП, который имеет нефтяную основу с добавлением нафтената меди в количестве 5—10%. В состав нефтяной основы входят: нефтяной церезин неочищенный или синтетический церезин 5,5—7%; нефтяной битум марки БН 60/90 47—56%; парафин 32—40%; петролатум 5,5—7%.

При поставке кабелей и проводов в страны с тропическим климатом в пропиточный состав добавляют не менее 10% нафтената меди. При изготовлении кабелей в обычном, не тропическом исполнении допускается использование противогнилостной пропитки защитных покровов, состоящей из полугудрона и нафтената меди.

С целью защиты хлопчатобумажной пряжи от поражения плесневыми грибами производят антисептическую обработку их смесью оксидифенила и салициламида. Антисептирование пряжи производится непосредственно на прядильно-ниточных комбинатах-поставщиках пряжи кабельным заводам.

Для предварительной противогнилостной пропитки пряжи на кабельных заводах применяются массоварочный котел для приготовления пропиточной массы с паровым обогревом и автоматической мешалкой; пропиточный котел, в котором осуществляется пропитка пряжи (котел имеет паровой обогрев, а также оборудован системой трубопроводов и насосом для циркуляции пропиточной массы); котел с паровым обогревом для обеднения пряжи и бумаги и массохранилище — котел объемом 14 м<sup>3</sup> с паровым обогревом и системой трубопроводов с шестеренчатым насосом для циркуляции состава.

Чтобы произвести пропитку пряжи и бумаги составом из полугудрона и нафтената меди, необходимо предварительно приготовить пропиточную массу. Для этого в массоварочный котел, нагретый до 60—80°C, подается полугудрон, который при непрерывно работающей мешалке нагревается до 100—120°C, а затем в него добавляют предварительно нагретый до 100—120°C нафтенат меди. Приготовление пропиточной массы производится в течение 2—3 ч при 100—120°C. Готовая масса перекачивается в массохранилище и используется для пропитки.



Бумажные ролики и бобины кабельной пряжи укладываются в сетчатые металлические корзины и погружаются в пропиточный котел. В котле производится сушка материалов при 110—115°C в течение 1 ч при остаточном давлении 26,6 кПа. После окончания сушки в котел подается пропиточный состав при 100—120°C. Время пропитки кабельной пряжи 2—3 ч, а кабельной бумаги 4—6 ч.

По окончании пропитки пропиточный состав сливается в массохранилище и производится обеднение кабельной пряжи и бумаги по следующему режиму: стекание пропиточного состава в пропиточном котле после окончания процесса пропитки; обеднение кабельной пряжи в котле при 100—120°C в течение 6—8 ч и кабельной бумаги в течение 30—40 мин. При пропитке кабельной пряжи в состав СП для защитных покровов в тропическом исполнении последовательность технологических операций сохраняется, однако процесс несколько упрощается, так как отпадает приготовление пропиточного состава. Готовый пропиточный состав в этом случае укладывается в сетчатые металлические корзины и помещается в пропиточный котел, в котором состав расплавляется и нагревается до 100—120°C. После расплавления состава корзина извлекается из котла.

## *Глава шестнадцатая*

# **ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ**

## **16.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ**

К надежности и долговечности кабелей и проводов предъявляются весьма высокие требования. Это связано с тем, что их подавляющее большинство является элементами крайне важных установок, часто имеющих крупное народнохозяйственное значение. Так, силовой кабель на напряжение 110 кВ передает мощность около 100 МВт и от его надежной работы зависит энергоснабжение крупного района большого города. От работы высокочастотного кабеля дальней связи зависит связь между целыми районами. От безупречной работы сигнально-блокировочных кабелей и проводов для бортовой сети зависит безаварийная работа железнодорожного и воздушного транспорта. Перечень этих примеров можно значительно расширить, так как ни одно промышленное сооружение в настоящее время немыслимо без электротехнических устройств, необходимой составной частью которых являются кабели и провода.

Качество продукции, выпускаемой предприятиями кабельной промышленности, контролируется путем проведения испытаний. Испытания и проверка качества выполняются как цеховым персо-

налом (мастерами, технологами, контролерами, рабочими, перешедшими на систему самоконтроля качества и имеющими личные клейма качества), так и аппаратом отдела технического контроля (ОТК).

На кабельных заводах действует система технического контроля и управления качеством выпускаемой продукции, регламентирующая место и роль, права и обязанности каждого члена производственного коллектива (предприятия, цеха, участка, отдела) в решении задачи обеспечения высокого качества кабелей и проводов.

Основная задача технического контроля производства кабелей и проводов — обеспечение уровня качества выпускаемой продукции в соответствии с действующей нормативно-технической документацией (государственными и отраслевыми стандартами, техническими условиями, конструкциями, маршрутными картами, технологическими инструкциями и др.). В задачи технического контроля входит не только проверка состояния готовой продукции (приемочный контроль), но и предупреждение различных отклонений от нормального производственного процесса, которые могут привести к дефектам готовой продукции (операционный контроль). Приемочный и операционный виды контроля не исключают, а взаимно дополняют друг друга, обеспечивая требуемое качество выпускаемой продукции и стабильность его уровня.

В обеспечении высокого уровня качества кабельной продукции решающую роль играют ее технические характеристики, регламентируемые стандартами и техническими условиями. Технический уровень выпускаемой продукции и сопоставление ее с лучшими мировыми образцами производится в процессе государственной аттестации качества. При аттестации изделия делятся на три категории: высшую, первую и вторую. К высшей категории относят те кабели и провода, которые соответствуют лучшим мировым образцам, к первой категории — по своему качеству отвечающие среднему мировому уровню и ко второй категории — не отвечающие мировому уровню и подлежащие снятию с производства. Тем кабелям и проводам, которым при аттестации присвоена высшая категория качества, может быть присвоен государственный Знак качества, являющийся наивысшей оценкой его качества.

Высокое качество и стабильность параметров кабелей и проводов практически не могут быть достигнуты при использовании во время их изготовления недоброкачественных материалов, неисправного технологического оборудования, приборов и инструментов, неправильно установленных или нарушаемых технологических режимов на отдельных переделах и недостаточной квалификации рабочих, мастеров и другого персонала, управляющего оборудованием и контролирующего технологический процесс производства.

Поэтому контроль качества продукции, осуществляемый в процессе производства и имеющий предупредительный характер, имеет большое значение. Такой контроль позволяет резко уменьшить количество исправимого и окончательного брака. (Исправимым браком считают такие виды брака, которые могут быть устранены, после чего продукция используется по прямому назначению. Окончательным браком считают такие виды брака, при наличии которых продукция не может быть использована по прямому назначению или устранение которых технически невозможно или экономически нецелесообразно.)

## 16.2. ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

Операционный контроль является одним из основных видов предупредительного контроля. Он включает контроль правильности технической документации, контроль качества материалов и полуфабрикатов, контроль правильности ведения технологических процессов, состояния оборудования и измерительной техники. Чем лучше поставлена и соблюдается система операционного контроля, тем меньше отклонений качества готовой продукции от установленных норм.

Контроль качества материалов и полуфабрикатов, как правило, осуществляется специальным персоналом ОТК. Качество всех поступающих на завод материалов и полуфабрикатов должно обязательно контролироваться. Испытания отдельных свойств материалов могут проводиться как в лабораториях, входящих в структуру ОТК, так и в центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ). Важно, чтобы по результатам этих испытаний не только давалось заключение о возможности применения того или иного материала, но и систематически проводился анализ стабильности качества этого материала. При этом, в тех случаях, когда наблюдается необходимая стабильность, входные испытания этого материала могут проводиться выборочно.

Контроль правильности ведения технологических процессов состоит в систематическом надзоре за соблюдением установленных режимов, зафиксированных в маршрутных картах и технологических инструкциях. Систематический контроль за соблюдением режимов производства — одна из основных обязанностей рабочих, мастеров, технологов и администрации цеха, которые несут полную ответственность за квалификацию и качество работы рабочих. Периодический контроль за соблюдением технологических режимов осуществляется отделом главного технолога (технического отдела), проводящим выборочные контрольные проверки соблюдения технологических режимов производства.

Контроль за состоянием оборудования в первую очередь возлагается на обслуживающих его рабочих, не имеющих права работать на неисправном оборудовании как с точки зрения обеспечения необходимого качества продукции, так и с точки зрения соблюдения правил техники безопасности. Для поддержания оборудования в состоянии, обеспечивающем требуемое качество продукции и безопасность обслуживающего персонала, на предприятиях разрабатываются графики осмотра и ремонта оборудования: текущего, профилактического, капитального. Контроль за соблюдением этих графиков и поддержанием оборудования в исправном состоянии должен осуществляться администрацией цеха и завода и в первую очередь механиком цеха и отделом главного механика завода.

Большую роль в обеспечении высокого уровня качества изготавливаемых кабелей и проводов играет состояние измерительных инструментов и приборов, применяемых как при контроле готовой продукции, так и в процессе ее производства. Для обеспечения необходимого уровня техники измерений и состояния измерительных приборов и инструмента на кабельных заводах имеются отделы главного метролога или лаборатории контрольно-измерительных приборов (КИП), обеспечивающие ремонт и проверку применяемых приборов и измерительных инструментов.

Операционный и межцеховой контроль предусматривают контроль качества заготовки или полуфабрикатов после выполнения определенной производственной операции. Они способствуют своевременному выявлению и устранению дефектов, которые в ряде случаев могут быть исправлены. В тех случаях, когда дефектные заготовки или полуфабрикаты нельзя исправить, они не допускаются в дальнейшее производство.

Операционный контроль в первую очередь должен осуществляться самими рабочими, выполнявшими контролируемую операцию, и цеховыми контролерами и мастерами тех участков, где эта операция выполнялась. В отдельных случаях операционный контроль может выполняться и аппаратом ОТК. В отличие от операционного межцеховой контроль обычно осуществляется аппаратом ОТК.

Данные приборов, приспособлений и инструментов, применяемых при проведении операционного и межцехового контроля качества, в том числе для проверки геометрических размеров элементов конструкций кабелей и проводов, их физико-механических, химических и электрических характеристик, приведены в литературе по испытаниям кабелей и проводов.

## 16.3. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Учитывая исключительное значение проблемы обеспечения высокого качества кабельных изделий, к ее решению надо подходить в соответствии с современным уровнем развития науки и техники, рассматривая не отдельные вопросы достижения высокого качества продукции, а с позиций системного анализа, разрабатывая такую систему действий, которая охватывала бы всю совокупность условий, влияющих на качество. Это возможно только при проведении комплекса взаимосвязанных, постоянно действующих мероприятий — технических, экономических и организационных. Такая система позволяет не только надежно контролировать качество, но и влиять на него, управлять качеством. Эта система нашла широкое применение на кабельных заводах и носит название комплексной системы управления качеством продукции (КСУКП), которая включает ряд составляющих ее систем, подсистем и решений. Основные из них следующие.

1. Разработка и внедрение показателя оценки качества. В настоящее время таким критерием обычно служит «показатель уровня качества выпускаемой продукции», численно равный отношению доли продукции высшей категории качества к общему выпуску продукции. При этом оценка объема выпуска продукции производится по оптовым ценам и, следовательно, носит приближенный характер, так как зависит от соотношения материалоёмкости изделий, аттестованных по разным категориям качества.

2. Разработка и внедрение систем стабилизации и управления технологическими процессами. Известно, что нестабильность технологических процессов производства кабелей и проводов неизбежно приводит к нестабильности и, следовательно, ухудшению их качества. Стабилизация технологических режимов производства в решающей степени зависит от степени его автоматизации, механизации, обеспечения постоянного контроля за соблюдением установ-

ленных режимов производства с оперативным принятием мер для устранения возникающих отклонений.

3. В КСУКП входит разработка и внедрение системы функциональной связи всех подразделений завода с четким разграничением прав и обязанностей каждого из них в общей системе управления качеством. Эти связи, права и обязанности чаще всего регламентируются системой стандартов предприятия (СТП).

4. Проведение работ по усовершенствованию конструкций выпускаемых изделий и режимов их производства, по созданию и внедрению принципиально новых технологических режимов, оборудования и изделий.

КСУКП включает также проведение работ по учету, контролю и анализу качества выпускаемых изделий. В последнее время эти работы обычно проводятся с помощью ЭВМ, позволяющих не только быстро получать необходимую информацию, но и оперативно вмешиваться (в случае необходимости) в производственный процесс в направлении улучшения качества выпускаемых изделий. Так, введена в действие подсистема управления качеством эмалированных проводов, позволяющая вести ежедневный учет выработки и брака (по рабочим и по изделиям), учет видов брака, диагностики причин брака и др. Вычислительная техника нашла применение и при производстве кабелей связи, — автоматизированные измерительные установки обеспечивают проведение операционного контроля и контроля готовых изделий, а также статистический анализ качества и выдачу рекомендаций, необходимых для его улучшения.

КСУКП предусматривает также разработку и внедрение систем обучения кадров, входного контроля поступающих материалов, состояния оборудования, измерительной техники и других факторов, влияющих на качество продукции.

В КСУКП, действующих на кабельных заводах, большая роль отводится вопросам морального и материального стимулирования за выпуск продукции высокого качества. Для этой цели предусмотрены системы поощрения за бездефектное изготовление продукции с первого предъявления (БИП), за гарантию рабочим качества выпускаемой им продукции, за ее самоконтроль с правом личного клеймения и др.

Для коллективов (цехов, отделений, смен) устанавливаются так называемые «коэффициенты качества» — комплексные показатели, оценивающие количество и характер претензий на качество выпущенной продукции и отклонений от заданных технологических режимов и др.

Количество и значимость перечисленных выше вопросов, влияющих на качество продукции и входящих в комплексную систему управления качеством, может варьироваться в зависимости от специфических условий работы завода, цеха или участка. Однако общим для любого из них, и это надо подчеркнуть является необходимость комплексного, системного, подхода к проблеме обеспечения качества выпускаемой продукции.

## **ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ В КАБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **17.1. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ**

Техника безопасности является одним из разделов науки по охране труда и состоит из системы организационных и технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов. Кабельное производство весьма разнообразно и включает горячую и холодную обработку металлов (прокатка, прессование и волочение), химические и тепловые процессы (эмалирование, сушку и пропитку, экструдирование пластмасс и резин), механическую обработку и транспортировку продукции (скрутку и обмотку, межоперационную перевозку полуфабрикатов, сырья и готовых кабелей и проводов) и т. д. В кабельном производстве широко применяются многие токсичные материалы, например растворители лаков, свинец, используются высокие температуры и давления, различные источники и потребители электрической энергии, в том числе высокого напряжения. Поэтому организации труда и состоянию техники безопасности на всех участках и во всех подразделениях кабельного производства уделяется исключительно большое внимание.

Организация труда должна обеспечивать такой уровень его интенсивности, при котором работающий затрачивает энергию в пределах, допустимых для здорового организма, а израсходованные силы к следующему рабочему дню полностью восстанавливаются. Этот уровень достигается правильным режимом работы и организацией рабочего места, внедрением системы технических мероприятий, облегчающих условия труда, хорошими санитарно-гигиеническими условиями.

Согласно действующему законодательству ответственность за создание безопасных условий работы и контроль за выполнением работающими правил по технике безопасности возлагается на администрацию предприятий, т. е. директора и главного инженера кабельного завода, начальника цеха и руководителей отдельных участков работ. Весь административно-технический персонал должен быть обучен правилам, положениям и инструкциям по технике безопасности и производственной санитарии, а по окончании обучения должна производиться проверка знаний квалификационной комиссией с выдачей соответствующего удостоверения.

При приеме на работу и при переходе с одной работы на другую администрация должна инструктировать каждого работающего в отношении правильного и безопасного метода ведения работ. Проведение инструктажа должно быть документально оформлено. К работам, связанным с обслуживанием сложных агрегатов, установок и механизмов или к выполнению других ответственных

и опасных работ (с грузоподъемными механизмами, электроустановками, сосудами, работающими под давлением и др.), могут допускаться только лица, прошедшие специальное обучение, после проверки их знаний квалификационной комиссией с выдачей им соответствующего удостоверения.

Инструктаж и обучение работающих по технике безопасности должны проводиться на основе инструкций по технике безопасности, которые должны вывешиваться на рабочих местах или выдаваться работающим под расписку. Производственные участки и цехи должны быть обеспечены плакатами и предупредительными надписями по технике безопасности и производственной санитарии. Все вновь принимаемые на работу должны подвергаться медицинскому осмотру для проверки соответствия их здоровья конкретным условиям работы по избранной специальности.

Несмотря на принимаемые технические, организационные и воспитательные меры, в некоторых случаях возможны производственные травмы. О каждой из них администрация совместно с профсоюзной организацией должна по специальной форме составить акт о несчастном случае на производстве, в котором не только зафиксировать обстоятельства несчастного случая и его последствия, но и проанализировать его причины и наметить мероприятия по их устранению.

При проектировании кабельных цехов большое внимание должно уделяться правильному расположению оборудования, обеспечению расстояний между машинами и агрегатами, необходимых для безопасного прохода и проезда между ними, максимальной механизации и автоматизации транспортных операций. Площади и объемы кабельных цехов, расстояния между оборудованием выбираются на основании определенных норм. Так, высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м, объем и площадь производственного помещения, приходящиеся на каждого работающего, не менее 15 м<sup>3</sup> и 4,5 м<sup>2</sup>, стены и потолки кабельных цехов должны быть малотеплопроводными, полы ровными и нескользкими.

Проезды и проходы внутри цехов должны иметь ясно обозначенные габариты, очерченные желтыми (белыми) линиями или заменяющими их знаками шириной не менее 50 мм. Все каналы и углубления в полах должны быть плотно и прочно закрыты или ограждены.

Дверные проемы для транспортирования грузов должны соответствовать габаритам применяющихся транспортных средств и обеспечивать свободные проходы по обе стороны от этих габаритов по ширине не менее 0,7 м. Стены помещений должны удовлетворять требованиям удобной очистки. Крыши должны иметь ограждения по краям и содержаться в исправном состоянии. В зимнее время крыши и карнизы зданий должны очищаться от снега и льда.

Производственные помещения должны быть оборудованы достаточным количеством выходов для быстрой эвакуации людей в случае аварии или пожара.

Безопасный и высокопроизводительный труд может быть обеспечен только при условии хорошего освещения рабочих мест. Освещение может быть естественным (через окна или фонари), искусственным (электрическим) и комбинированным. Освещенность рабочих поверхностей должна соответствовать установленным санитарным нормам.

В кабельном производстве наибольшая освещенность рабочих мест должна быть в отделениях тончайшего волочения, обмотки и эмалирования. По мере увеличения диаметра или сечения обрабатываемой проволоки освещенность рабочих мест может уменьшаться в 2—3 раза.

Электрическое освещение производственных участков чаще всего обеспечивается применением экономически эффективных люминесцентных светильников. Оно выполняется либо по системе общего освещения, при котором равномерно освещается все помещение, либо по системе местного или комбинированного освещения, при которых на рабочих местах устанавливаются источники, создающие повышенную освещенность рабочих мест. На крановых фермах или кран-балках должны быть установлены светильники дополнительного освещения для освещения рабочих мест, затемняемых краном или кран-балкой во время их движения. Для питания светильников общего освещения применяется напряжение не выше 220 В. Такие светильники устанавливаются на высоте не менее 2,5 м. Светильники местного стационарного освещения в обычных местах также могут быть рассчитаны на напряжение до 220 В. Для питания переносных ручных светильников должно применяться напряжение не выше 36 В, а при наличии особо неблагоприятных условий (например, при работе в котлах) не выше 12 В.

На организм человека вредное влияние оказывает шум, представляющий собой беспорядочное сочетание звуков различной силы и частоты. В кабельных цехах работа различных машин (изолирующих, волочильных, крутильных, оплеточных) вызывает колебания воздуха, воспринимаемые организмом человека как шумы. Вредное физиологическое действие шума на организм человека проявляется в возможном развитии глухоты, нарушениях работы нервной и сердечно-сосудистой систем, ухудшении работы органов дыхания. Чрезмерный шум ослабляет внимание работающего, понижает производительность труда и повышает возможность производственного травматизма.

Одной из основных мер борьбы с шумами и вибрациями является конструктивное усовершенствование оборудования. Для этого необходимо улучшать балансировку вращающихся частей оборудования, строго соблюдать сроки смазки, регулировки и устранения биений в соединительных муфтах. Правильный выбор материалов соприкасающихся деталей (например, замена, где это возможно, металлических шестерен на капроновые) также способствует снижению производственного шума. Положительный эффект дает применение вибрационных амортизаторов.

В электротехнических установках повышенные шумы и вибрации могут возникать не только при вращении металлических частей, но и от трансформаторов (при слабом сжатии листов магнитопровода) или при плохой регулировке сварочных аппаратов, а также при различных ослаблениях контактов, плохой обработке поверхностей коллекторов и др.

Для индивидуальной защиты работающих от шумов и вибраций применяются вкладыши из пропитанной ваты, закладываемые в наружное отверстие уха, и специальная обувь на войлочной или толстой резиновой подошве, защищающая от вибраций и сотрясений, передаваемых телу через ноги.



Входные двери производственных помещений, а также двери, через которые транспортируют материалы и готовую продукцию, должны быть снабжены отопливаемыми тамбурами, а в случае невозможности их устройства — тепловыми завесами.

Установленное в кабельных цехах оборудование выделяет значительное количество теплоты. К такому оборудованию в первую очередь относятся прокатные станы, плавильные и отжигательные печи, сушильные котлы и вулканизационные агрегаты, экструзионные агрегаты для наложения пластмасс и металлов, эмаль-агрегаты, бронемашин и др. Кроме того, источниками тепловых излучений в кабельных цехах могут быть наружные стенки горячих паро-, масло- и битумопроводов, электрических машин, аппаратов, кабелей, нагревательных приборов и т. п.

Если вблизи работающего человека находятся нагретые тела, излучающие тепло, то такое излучение может вызвать опасный перегрев поверхности кожи и общий перегрев тела. Кроме того, температуры кожи и тела здорового работающего человека зависят от его физической нагрузки и отдачи тепла в окружающую среду, которая определяется температурой, влажностью и подвижностью воздуха. При значительных перегревах организма возникает опасное заболевание (гипотермия, или тепловой удар), связанное с нарушением работы сердечно-сосудистой системы.

Защита человека от тепловых лучей осуществляется тепловой изоляцией горячих частей машин и механизмов или установкой экранов из теплозащитных материалов. Так, горячие ванны, котлы, печи и трубопроводы, как правило, имеют тепловую изоляцию из асбестового волокна или других аналогичных материалов. Индивидуальная защита работников от тепловых лучей осуществляется применением специальной теплозащитной одежды из брезента или сукна, очками со светофильтрами и др.

В производственных условиях воздух может содержать недопустимые для здоровья человека примеси вредных газов или паров. Например, при эмалировании проводов в воздух выделяются вредные пары растворителей, при освинцевании кабелей — пары свинца, при травлении меди — пары серной кислоты. Содержащиеся в воздухе вредные газы и пары могут проникать в организм человека через дыхательные пути, через кожу или заглатываться вместе с пищей и вызывать отравления организма (острые или систематические).

Во избежание острых отравлений организма или систематических, приводящих к возникновению хронических профессиональных заболеваний, содержание паров, газов и пыли в воздухе производственных помещений не должно превышать предельно допустимых норм концентрации (ПДК). Согласно требованиям производственной санитарии на каждом кабельном заводе систематически берутся пробы для контроля воздушной среды с целью определения содержания примесей вредных веществ (табл. 17.1). ♣

Основным способом защиты людей от вредного воздействия газов и паров, находящихся в воздухе, является создание приточно-вытяжной принудительной вентиляции, с помощью которой из всего помещения или его части, наиболее загрязненной вредными парами, газами и пылью, удаляется загрязненный воздух и подается очищенный. Наиболее эффективным оказывается местный отсос пылевыделений с таких особо вредных участков, как свинцеплавильные ванны, эмаль-агрегаты и др. Большое значение имеет гер-

Таблица 17.1

**Предельно допустимые концентрации вредных веществ  
в рабочей зоне кабельных цехов по ГОСТ 12.1.005-76**

Материал	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Частота взятия проб по методическим указаниям городской СЭС
Свинец (аэрозоль)	0,01	1 раз в квартал
Алюминий (пыль)	2	1 раз в год
Крезол	0,5	3 раза в год
Ацетон	200	1 раз в год
Медь (пыль)	1	2 раза в год
Стекловолокно (пыль)	4	1 раз в год
Древесная и бумажная пыль	4	1 раз в год
Кислота серная	1	2 раза в год
Кислота соляная и азотная	5	2 раза в год

метизация производственных процессов, сопровождающихся пылевыделением. Так, упомянутые выше свинцеплавильные ванны, из которых возможно выделение горячих паров, как правило, герметизируются и снабжаются вытяжной вентиляцией. На особо опасных участках может практиковаться работа в респираторах.

Механическая приточно-вытяжная вентиляция обеспечивает поддержание постоянного воздухообмена, не зависящего от внешних метеорологических условий. В зимнее время поступающий в помещение воздух подогревается калориферами, в летнее время он охлаждается. Наилучшее состояние воздуха в производственных помещениях обеспечивается при его кондиционировании — автоматическом поддержании температуры, влажности и количества подаваемого воздуха.

При работе вытяжной вентиляции загрязненный воздух удаляется из производственных помещений. Для того чтобы удаляемый воздух не загрязнял воздушную среду, окружающую промышленные предприятия, он подвергается очистке в пылеотделителях, фильтрах и других аналогичных устройствах. Именно такими устройствами оборудуются ванны свинцовых прессов и другие участки кабельного производства, где имеет место особенно большое выделение токсичных паров, газов и пыли. Эмаль-агрегаты оборудуются приставками каталитического сжигания отходящих газов.

Для улучшения теплового баланса человеческого организма рабочие горячих цехов и участков (прокатка, нагрев и отжиг металла, производство эмалированных проводов и т. п.) обеспечиваются подсоленной газированной водой.

На кабельных заводах для подъема и перемещения грузов (главным образом сырья и полуфабрикатов) применяют различные грузоподъемные машины и механизмы: подъемные краны и тельферы, кран-балки, лифты, электро- и автопогрузчики, электрокары и др.

Подъемные краны снабжаются набором грузозахватных приспособлений, простейшим из которых является крюк. Для перемещения больших барабанов с кабелем на крюк обычно надевают различные чалочные приспособления, обеспечивающие надежность крепления поднимаемых грузов. Мостовые краны оборудуют рядом предохранительных устройств, концевыми выключателями, обеспечивающими автоматическое прекращение движения в конце пути, сигнализацией, предотвращающей возможность наезда на людей, находящихся вблизи перемещаемого груза, и др.

На всех без исключения грузоподъемных машинах и механизмах может работать только специально обученный и аттестованный персонал (крановщики, стропальщики, водители погрузчиков) не моложе 18 лет. Надзор за исправностью грузоподъемных механизмов возлагается на специально выделенных электромехаников, которые периодически производят осмотр и испытание этих механизмов и записывают результаты в специальный журнал. Кроме цехового и общезаводского персонала грузоподъемные сооружения периодически осматриваются, проверяются и испытываются техническими инспекторами Госгортехнадзора.

В кабельных цехах обслуживающему персоналу приходится не только управлять работой машин и агрегатов, но и применять различные ручные инструменты и приспособления. Как первые, так и вторые при неправильных приемах работы создают возможность возникновения травм. Для снижения производственного травматизма разработана строгая система мероприятий, главным из которых является создание таких конструкций машин, механизмов, приспособлений и инструмента, которые, учитывая анатомические, физиологические и психические данные человека обеспечивали бы максимум его безопасности во время работы. Кроме того, при конструировании кабельного оборудования широко применяются такие защитные приспособления, как ограждения, блокировки, предохранительные клапаны и различного рода сигнализация. Например, вращающиеся валы кабельных машин имеют ограждения, а обмотчики и крутильные устройства — раздвижные ограждения, снабженные блокировкой, останавливающей машину при открытии этих ограждений. Машины, обслуживаемые не одним, а несколькими рабочими (бронировочные, крутильные и др.), кроме ограждений и блокировки оборудуются специальными пусковыми устройствами, обеспечивающими обязательную подачу предупредительных звуковых сигналов перед началом работы машины.

Основным законом безопасной работы является использование только исправного оборудования и инструмента. Поэтому обязательным правилом для каждого работающего на кабельном заводе является предварительная проверка исправности оборудования и инструмента, ограждений, блокировок и других защитных приспособлений.

При работе на машинах, имеющих вращающиеся части, травмирование человека может произойти в результате захвата различными выступающими вращающимися частями (шкивы, валы, шестерни и др.) одежды, волос или даже частей тела работающих. Поэтому категорически запрещается производить смазку, наладку или чистку оборудования во время его работы, а также уборку вблизи движущихся частей машин. Нельзя тормозить рукой вращающиеся части машин для ускорения их остановки.

В цехах кабельных заводов применяется большое количество различного электрооборудования — электродвигатели и генераторы, трансформаторы, пуско-регулирующая аппаратура, испытательные аппараты высокого напряжения и др. Работа с электрическими установками требует соблюдения целого ряда правил, при нарушении которых могут иметь место поражения людей электрическим током — электрические удары или электрические травмы.

Под электрическим ударом понимается такое действие тока на организм, при котором мышцы человека начинают судорожно сокращаться, а сердце продолжает работать. При тяжелых электрических ударах человек может терять сознание, нарушается работа сердечно-сосудистой системы, возможен паралич важнейших органов (сердца, мозга и т. д.) и даже смертельный исход.

Электрической травмой называют такое действие тока на организм, при котором повреждаются ткани тела (кожа, мышцы и др.). Особую опасность представляют электрические травмы в виде ожогов, появляющихся в местах контакта тела человека с токопроводящей частью электроустановки или электрической дугой.

Как электрический удар, так и электрическая травма связаны с прохождением через тело человека недопустимого электрического тока. Кроме того, вредное воздействие на организм человека может оказывать и его пребывание в электромагнитных полях недопустимой мощности или в зоне повышенных радиоактивных излучений. Вследствие повышенной опасности поражения обслуживающего персонала электрическим током, на промышленных предприятиях действуют правила техники безопасности и специальные правила устройства электроустановок (ПУЭ), регламентирующие электробезопасность.

Персонал, обслуживающий электротехнические установки, должен проходить специальное обучение, сдавать квалификационный экзамен и иметь соответствующие удостоверения. Кроме того, на работы по ремонту действующих электротехнических установок должны оформляться специальные наряды или распоряжения, предусматривающие проведение необходимых мер безопасности до начала этих работ, надзор и персональную ответственность за выполнение правил безопасности со стороны руководящих инженерно-технических работников цеха или предприятия (отсутствие напряжения, наличие заземления, ограждений и предупредительных сигналов).

В то же время рабочие-операторы, обслуживающие кабельные машины, как правило, специального инструктажа и квалификационного экзамена по безопасной работе на электроустановках не проходят, так как им не приходится заниматься ремонтом и наладкой электроустановок, а все основные правила работы с исправным электрооборудованием предусматриваются в технологических инструкциях и инструкциях по технике безопасности для работающих на соответствующих машинах кабельного производства.

Правила безопасной работы на каждом производственном участке регламентируются специальными инструкциями. В качестве примера рассмотрим основные положения по технике безопасности на одном из наиболее тяжелых участков кабельного производства — в отделении свинцовых прессов, где рабочим приходится поднимать тяжести, где необходимо учитывать возможность ожога горячим свинцом, поражения электрическим током, попадания в организм вредных паров свинца и свинцовой пыли.

Помимо общих правил техники безопасности (знание оборудования и технологии работы, наличие спецодежды, осторожность при транспортировании тяжестей, эксплуатация только исправного оборудования и т. п.) при работе на свинцовых прессах необходимо соблюдать ряд специальных требований техники безопасности и личной гигиены.

Нельзя загружать в плавильную ванну сырые слитки свинца, допускать попадание влаги в расплавленный свинец. Во избежание разбрызгивания жидкого свинца на гидравлических прессах необходимо как можно медленнее опускать пресс-штемпель в расплавленный свинец. При пуске пресса не следует близко подходить к нему со стороны выхода кабеля и превышать сверх установленных величин давление в гидросистеме гидравлического пресса и на ручном гидронасосе червячного пресса.

Охлаждение свинца в контейнере гидравлического пресса должно производиться строго в течение установленного времени. Перегрев свинца не допускается, так как он может привести к «выстрелам» жидкого свинца из головки и ожогам персонала. Свинец начинает интенсивно испаряться при 500°C. Его пары в воздухе быстро окисляются, превращаются в мельчайшую пыль, которая при несоблюдении мер предосторожности может попасть в организм человека при дыхании, вместе с пищей, во время курения, вызывая отравление и хронические заболевания организма.

Советское законодательство обеспечивает необходимую охрану здоровья рабочих-освинцовщиков. Их рабочий день не должен превышать 6 ч, в дни работы они бесплатно получают молоко, ежегодный отпуск освинцовщиков составляет 24 рабочих дня. Освинцовщики получают пенсию по старости на льготных условиях — при достижении 50 лет.

Все перечисленные мероприятия могут обеспечить здоровье освинцовщика и предохранить его от профессиональных заболеваний только в том случае, если он сам соблюдает правила личной гигиены: перед едой и курением тщательно моет руки с мылом и полощет рот чистой водой, так как для организма человека особенно вреден свинец, попадающий через органы дыхания и пищеварения. Принятие пищи около свинцовых прессов категорически запрещается. Пища работающих со свинцом должна быть богата витаминами и углеводами. Особенно рекомендуются овощи, молоко и фрукты.

Свинцовый пресс и площадка вокруг него должны подвергаться влажной уборке, плавильные ванны должны иметь вентиляционные отсосы. Для того чтобы свинец не попадал в поры кожи, спецодежда освинцовщика должна быть исправной, перед началом работы рекомендуется смазывать жиром кисти рук, избегать работы без рукавиц, после окончания работы необходимо мыть тело горячей водой с мылом и чистить зубы.

Чистку свинцеплавильных ванн следует производить в респираторах, так как даже в пустых, но еще теплых ваннах концентрация паров свинца превышает допустимую для работы без респираторов. Свинцовая изгарь, извлеченная из плавильных ванн, должна складываться в герметично закрываемые ящики и храниться в специально отведенном месте. Крышки плавильных ванн должны быть закрытыми, вытяжная вентиляция пресса всегда должна быть в исправном состоянии. Работа на прессе при выключенной вытяжной вентиляции запрещается.

## 17.2. ОСНОВЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

В кабельном производстве используется много горючих веществ: масла и битумы, бумага, каучук, различные пластмассы и растворители, кабельная пряжа и много других легко воспламеняющихся и горючих материалов. Поэтому при проектировании и работе на кабельных заводах должны строго соблюдаться правила противопожарной безопасности.

Пожарную опасность на кабельном заводе представляют как хранение и транспортировка, так и обработка различных горючих материалов. Поэтому все здания и сооружения, расположенные на территории завода, строятся с учетом степени пожарной опасности производства. Нельзя, например, хранить горюче-смазочные материалы в складах, построенных из сгораемых материалов, или размещать пожароопасные бронировочное и эмалировочное производства в здании, выполненном из сгораемых материалов и конструкций. С другой стороны, экономически неоправданно применение негорюемых материалов и конструкций при строительстве цеха, в котором будет располагаться волоочильное оборудование.

Причины загораний на кабельных заводах могут быть электрического и неэлектрического характера. Основными причинами электрического характера являются искрение в электрических аппаратах и машинах или электростатические разряды и удары молний. Плохие контакты в местах соединений проводов или перегрузка и неисправность электрических сетей и обмоток электрических машин и трансформаторов при отсутствии надлежащей защиты могут приводить к местному перегреву частей электрооборудования и воспламенению изоляции.

Причинами загораний неэлектрического характера могут быть неосторожное обращение с огнем при проведении сварочных работ, неправильное обращение с паяльными лампами, неисправности вентиляционных нагревательных и отопительных приборов, неисправности производственного оборудования, нарушения технологического процесса, в результате которых возможно выделение горючих газов, паров и пыли, курение в пожароопасных и взрывоопас-

Таблица 17.2

### Причины загорания

Причина	% от общего количества
Нарушение графика очистки вентиляционных систем	30
Нарушение правил проведения сварочных и других огневых работ	17
Несовершенство и неисправность оборудования	13
Нарушение технологических режимов	10
Неисправность электроустановок и электропроводки	10
Самовоспламенение волокнистых материалов	10
Нарушение правил хранения материалов	5
Прочие	5
Всего	100

ных помещениях, самовоспламенение и самовозгорание некоторых материалов. Анализ причин загораний, имевших место на одном из кабельных заводов, приведен в табл. 17.2.

Снижению количества возникающих загораний и пожаров способствует установление и поддержание режимов, ограничивающих или запрещающих применение пожароопасных материалов и технологических процессов, открытого огня в пожароопасных местах, жестко регламентирующих допустимые условия производства электро- и газосварочных работ, допускающих курение только в специально отведенных местах, и т. д.

Так как эти мероприятия должны выполняться производственным персоналом, исключительно важное значение в деле снижения количества загораний и пожаров играет обучение персонала противопожарным правилам и контроль за их выполнением, издание необходимых инструкций и плакатов, оснащение рабочих мест средствами пожаротушения и др.

При нарушении установленных противопожарных мер и в аварийных условиях не исключена возможность возникновения очагов загорания, которые могут перейти в пожар. Поэтому противопожарные инструкции, действующие на кабельных заводах, не только регламентируют правила пожаробезопасной работы, но и предписывают меры борьбы с распространением пожаров и ликвидацией возникающих очагов загорания.

В этом отношении большая роль отводится первичным средствам огнетушения — огнетушителям, ящикам с сухим песком, пожарным гидрантам, которые обслуживающий персонал обязан применять до прибытия вызванной пожарной части.

Для тушения пожаров можно использовать воду, водяной пар или специальные химические вещества. Вода — это самое дешевое и распространенное средство огнетушения, однако ее нельзя применять для тушения легковоспламеняющихся жидкостей (бензин, керосин, минеральное масло). Нельзя применять воду и для тушения электроустановок, находящихся под напряжением (без применения специальных мер защиты от поражения электрическим током через струю воды).

Для тушения пожара в закрытых помещениях часто применяют водяной пар. Хорошие результаты при тушении пожара дает применение химической или механической пены, источником которой служат пенные огнетушители. Из химических средств огнетушения широкое распространение получила углекислота, получаемая из углекислотных огнетушителей. К первичным средствам огнетушения относятся также сухой песок и асбестовая или грубошерстная ткань, которые позволяют ограничить доступ воздуха (кислорода) к очагу пламени.

К техническим мероприятиям, позволяющим быстро обнаружить и ликвидировать очаг пожара, относится пожарная сигнализация, с помощью которой к месту пожара может быть вызвана пожарная команда. Для осуществления пожарной сигнализации может использоваться местная и городская телефонная связь. Кроме телефонной связи может применяться специальная противопожарная сигнализация, которая обычно снабжается автоматическими приборами (термоизвещателями), подающими сигнал тревоги в случаях превышения установленной температуры. Эти же сигналы могут подаваться обслуживающим персоналом вручную. В особо пожароопасных участках кабельных цехов часто устанавливаются автома-

тически включающиеся средства пожаротушения (спринклеры). Они начинают автоматически действовать, если температура в помещении превысила установленную норму.

Администрация предприятий несет ответственность за обеспечение пожарной безопасности, для чего организует работу по предупреждению и тушению пожаров. На предприятиях для этой цели создаются профессиональные пожарные команды, располагающие необходимыми средствами огнетушения и ведущие профилактические мероприятия по предупреждению пожаров. Кроме профессиональных пожарных команд на большинстве кабельных заводов создаются добровольные пожарные дружины (ДПД), в состав которых входят рабочие и инженерно-технические работники предприятия (цеха). Члены ДПД проходят специальную подготовку по борьбе с пожарами, ведут разъяснительную работу по соблюдению правил пожарной безопасности, а в случае возникновения пожара приступают к его тушению местными средствами до прибытия пожарной команды.

Для повышения пожарной безопасности на кабельных заводах организуются пожарно-технические комиссии во главе с главным инженером, которые разрабатывают и контролируют внедрение мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на производстве, привлекая к этой работе рабочих, служащих и инженерно-технических работников предприятия.

## *Глава восемнадцатая*

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

## **18.1. ОРГАНИЗАЦИЯ КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА — СТРУКТУРА ЗАВОДА И ЦЕХА**

Кабельные заводы делятся на универсальные, выпускающие разнородную продукцию, например силовые кабели, кабели связи, обмоточные провода и т. д., и специализированные, выпускающие однородную продукцию, например только кабели связи или авто-тракторные провода.

В состав завода входят основные производственные и вспомогательные цехи. К основным относятся цехи, непосредственно выпускающие кабельную продукцию, а также заготовительные цехи, обеспечивающие основные цехи полуфабрикатами. В число заготовительных цехов входят прокатный, волочильный и резиноподготовительный. Кабельное производство начинается с горячей прокатки медных и алюминиевых слитков в круглую заготовку (так называемую катанку) или фасонную заготовку (так называемый подкат). Прокатные станы имеются не на всех заводах; те заводы, где эти станы имеются, обеспечивают катанкой не только себя, но и другие кабельные заводы. Диаметр медной катанки 8 мм, а алюминиевой — 9 мм. Из катанки методом волочения получают проволоку различных диаметров — от 6 до 0,02 мм (20 мкм).



Перечень основных так называемых кабельных цехов разнообразен. Это цехи силовых кабелей, неизолированных проводов для линий электропередачи, кабелей связи, радиочастотных кабелей, шахтных кабелей, монтажных проводов, силовых проводов, обмоточных проводов с эмалевой изоляцией, обмоточных проводов с волокнистой и пленочной изоляцией и т. д.

Вспомогательные цехи и службы кабельного завода: механический, тарно-сборочный, ремонтно-строительный, энергоцех, склады материалов и готовой продукции, депо электрокаров и др.

Для удобства управления производством каждый кабельный цех может иметь несколько производственных отделений. Если цехи разделяются между собой по виду выпускаемой продукции (вторым отличительным признаком может быть тип изоляции, например, бумажная пропитанная или пластмассовая изоляция силовых кабелей, так как тип изоляции определяет характер технологического процесса и состав оборудования в цехе), то отделения формируются по однородности технологических операций.

Например, в цехе силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией имеются обычно четыре отделения: крутильно-изолирующие, где производится скрутка токопроводящих жил и их изолирование методами как совмещенных, так и отдельных операций, а также общая скрутка изолированных жил в сердечник; сушильно-пропиточное; отделение наложения металлических оболочек (свинцовых, алюминиевых) или просто прессовое; бронировочное, где на кабели накладываются защитные покровы, включающие стальную ленточную или проволочную броню.

В цехе кабелей связи с металлическими оболочками может быть пять отделений: изолирующее, где изолируются однопроводные жилы; крутильное, где производится скрутка изолированных жил в группы и групп в сердечник; сушильное; наложения оболочек (с гидравлическими и червячными прессами и сварочными агрегатами); наложения защитных покровов (с бронировочными машинами и экструдерами для выпрессовывания пластмассового шланга).

Цехи эмалированных проводов делят на отделение прямоугольных проводов и отделения круглых проводов малых и больших диаметров, граница раздела между которыми обуславливается моделями оборудования.

В цехе обмоточных проводов с волокнистой изоляцией, как правило, имеются отделения проводов с бумажной изоляцией, с волокнистой изоляцией и с нагревостойкой стекловолокнистой изоляцией.

Таблица 18.1

### Структура себестоимости продукции кабельного производства (завода, цеха)

Группа	Затраты на материалы, %	Зарплата и начисления, %
I	Более 85	Менее 10
II	85—80	10—15
III	80—75	15—20

Кабельное производство — весьма материалоемкое. Стоимость материалов составляет в зависимости от ассортимента выпускаемой продукции от 74 до 92% всех затрат на производство кабелей и проводов. Доля заработной платы и начислений в общем объеме затрат колеблется от 5 до 20%. По структуре себестоимости продукции кабельные производства можно разделить на три группы (табл. 18.1).

Затраты на топливо и электроэнергию, а также амортизационные и прочие расходы для всех трех групп не превышают 5%.

К I группе относятся производства с наиболее материалоемкой продукцией, как, например, неизолированные провода для линий электропередачи, силовые кабели с бумажной пропитанной, резиновой и пластмассовой изоляцией, кабели связи и т. п. К III группе, наоборот, — производства с наиболее трудоемкой продукцией, такой как шнуры и провода связи, монтажные, авиа-автотракторные, эмалированные провода и др. Выработка в рублях на одного рабочего и съем продукции в рублях с 1 м<sup>2</sup> площади наибольшие в I и наименьшие в III группе.

## 18.2. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОЧИХ

Рациональный выбор и расчет количества технологического оборудования, необходимого для выполнения заданной программы выпуска кабельной продукции, являются основой проектирования цехов и отделений, так как число единиц оборудования, его размещение, выбранные технологические схемы производственных процессов и соответствующие им схемы грузопотоков во многом определяют планировку и площади производственных зданий, необходимые количества производственных и вспомогательных рабочих и в конечном счете техникоэкономические показатели проектируемого объекта.

Расчет количества технологического оборудования производится для каждого маркразмера кабеля или провода и включает: выбор технологической схемы и конкретной машины для выполнения каждой операции; определение производительности выбранных машин; определение расчетного числа машин для каждого маркразмера; окончательное установление численности оборудования каждого типа и наименования с учетом, во-первых, применения однотипных машин для различных маркразмеров изделий и, во-вторых, допустимых значений коэффициентов загрузки и использования оборудования.

Необходимость составления схемы технологического процесса (маршрутной карты) можно проиллюстрировать следующими примерами.

Первый пример. Изготовление силовых бронированных кабелей с полиэтиленовой изоляцией на напряжение 1 кВ. Токопроводящие жилы малых сечений, например 16 мм<sup>2</sup> — однопроволочные; следовательно, первой технологической операцией будет изолирование жилы на экструзионной линии. При изготовлении кабелей с токопроводящими жилами больших сечений, например 95 и 150 мм<sup>2</sup>, первой операцией будет повивная скрутка многопроволочных жил из отдельных проволок, причем для жил сечением 95 мм<sup>2</sup>

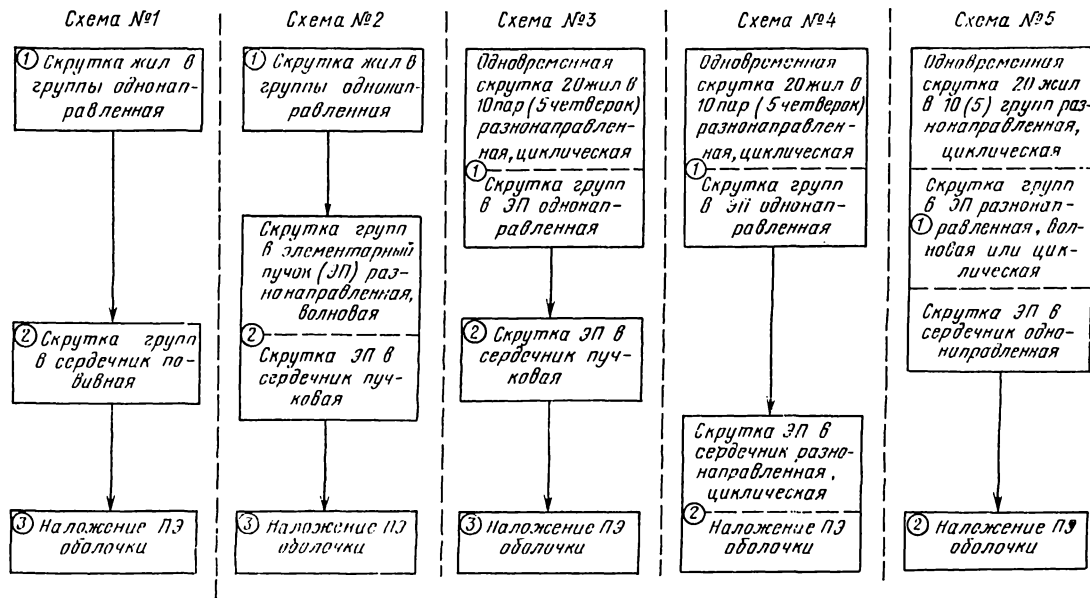


Рис. 18.1. Возможные технологические варианты изготовления городских телефонных кабелей типа ТП с числом пар до 100.

достаточно будет двухклетевой крутильной машины, а для жил сечением 150 мм<sup>2</sup> понадобится трехклетевая. Для последующей операции — изолирования жилы следует использовать экструдер с червяком большего диаметра, чем в первом случае.

**Второй пример.** Изготовление городских телефонных кабелей с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой с числом пар, например, 50 и 100 можно осуществлять по следующим пяти схемам (при этом начальная операция — изолирование однопроволочной токопроводящей жилы — во всех схемах одинакова).

**Схема № 1** (рис. 18.1): 1 — однонаправленная скрутка изолированных жил в группу (пару или четверку) на машине рамочного типа; 2 — повивная скрутка сердечника с одновременным спиральным наложением поясной изоляции и экрана на трехдисковой или пятидисковой машине; 3 — наложение полиэтиленовой оболочки на экструдере.

**Схема № 2:** 1 — такая же, как по схеме № 1; 2 — одновременная волновая разнонаправленная скрутка 5- или 10-парных элементарных пучков (ЭП), совмещенная с однонаправленной скруткой их в сердечник, спиральным наложением поясной изоляции и экрана — на машине пучково-волновой скрутки с колебательно-вращающимся розетками и крутильно-приемным устройством; 3 — такая же как по схеме № 1.

**Схема № 3:** 1 — одновременная циклическая разнонаправленная (SZ) скрутка 20 изолированных жил в группы (10 пар или 5 четверок), совмещенная с однонаправленной скруткой всех групп в элементарный пучок — на машине пучково-циклической скрутки; 2 — однонаправленная скрутка элементарных пучков в сердечник с одновременным спиральным наложением поясной изоляции и экрана — на машине с крутильно-приемным устройством; 3 — такая же, как по схеме № 1.

**Схема № 4:** 1 — такая же, как по схеме № 3; 2 — циклическая разнонаправленная (SZ) скрутка элементарных пучков в сердечник, совмещенная с наложением полиэтиленовой оболочки при одновременном продольном наложении поясной изоляции и экрана; выполняется на линии, состоящей из машины разнонаправленной скрутки и экструдера.

**Схема № 5:** 1 — одновременная циклическая разнонаправленная (SZ) скрутка изолированных жил в группы, совмещенная с последующей волновой или также циклической скруткой групп в элементарные пучки и, наконец, с однонаправленной скруткой последних в сердечник при одновременном спиральном наложении поясной изоляции и экрана — на машине пучково-циклической (волновой) скрутки; 2 — такая же, как операция 3 по схеме № 1.

Оптимальной будет та технологическая схема, которая обеспечивает наивысшую производительность труда, т. е. способствует максимальной интенсификации процесса производства. При этом не следует понимать под производительностью труда лишь производительность конкретной машины на данной операции. Имеется в виду производительность труда всего проектируемого участка (цеха, отделения), которая зависит также от номенклатуры выпуска, структуры и организации производства в целом. Рассмотрим эту связь на примере вышеуказанных пяти схем. Пусть цех изготавливает только кабели с числом пар не выше 100. Тогда вполне приемлема, например, схема № 4, при которой весь процесс состоит из двух переделов. Если же цех изготавливает городские телефонные кабели

всего диапазона маркоразмеров до 2400 и даже более пар, то изготовление сердечников с числом пар до 100 и главных пучков для многопарных сердечников можно осуществлять по одной схеме, например № 2, являющейся в этих условиях более универсальной. Дальнейший анализ должен учитывать объем выпускаемой продукции. Если он мал и по расчету потребуется один-два технологических потока, то лучше из соображений взаимозаменяемости при ремонте и возможных вариациях заказов выбрать универсальную схему. Если же объем выпуска большой, то целесообразно выбрать для изготовления малопарных кабелей специализированную схему № 4, а для скрутки главных пучков — схему № 2 (или № 5).

Окончательный выбор типов и количества единиц оборудования зависит от степени их загрузки и использования, о чем будет сказано ниже. Таким образом, процесс проектирования ведется методом последовательных приближений. Сначала рассчитывается необходимое количество единиц оборудования по разным вариантам, затем осуществляются ориентировочные планировки цеха или отделения, намечаются организованные технологические потоки, после чего производятся окончательный выбор и установление количества технологического оборудования.

Производительность кабельного оборудования принято выражать в километрах (или тоннах) в смену или в час. У обеих размерностей есть свои достоинства, которые будут объяснены ниже. Существуют понятия теоретической и фактической производительности. Теоретическая производительность машины в смену  $P_T$  равна произведению ее линейной скорости  $v_L$  на расчетную длительность смены в минутах  $T_{расч}$  и выражается в километрах в смену

$$P_T = \frac{v_L T_{расч}}{1000} \quad (18.1)$$

Если же в качестве расчетной принята единица не длины, а массы изделия, то  $P_T$  выражается в тоннах в смену

$$P_T = \frac{v_L M T_{расч}}{1000}, \quad (18.2)$$

где  $M$  — масса изготавливаемого на машине изделия, кг/м (т/км).

Расчетная длительность рабочей смены меньше ее номинальной продолжительности  $T_{ном}$  (например, 480 мин) на так называемое подготовительно-заключительное время  $T_{пз}$ , затрачиваемое на подготовку машины к работе, а также чистку машины по окончании работы и уборку рабочего места. Обычно  $T_{пз}$  нормируется в пределах 4—6% от  $T_{ном}$ , т. е. при  $T_{ном}=480$  мин составляет 20—30 мин. Тогда

$$T_{расч} = T_{ном} - T_{пз}.$$

Фактическая производительность машины меньше теоретической и получается умножением  $P_T$  на коэффициент машинного времени  $\tau_m$ . Последний равен частному от деления суммарного времени непосредственной работы машины в течение расчетной длительности смены  $T_m$ , называемого машинным временем, на расчетную длительность рабочей смены.

Подавляющее большинство машин не работает безостановочно в течение всей смены. Часть рабочего времени неизбежно затра-

чивается на выполнение всех необходимых ручных операций и поэтому называется ручным временем  $T_p$ . (Таким образом,  $T_{расч} = T_m + T_p$ ). В число ручных операций входят: перезаправка машины, например смена отдающей и приемной тары, роликов бумаги, бобин пряжи и т. д.; смена инструмента, например дорна и матрицы в головке экструдера или гидравлического пресса, устранение дефектов в полуфабрикате. Кроме того, при обслуживании одним рабочим нескольких ходов машины возможны простои одного хода при выполнении ручных операций на другом ходе. Следовательно,

$$\tau_m = \frac{T_m}{T_{расч}} = \frac{T_m}{T_m + T_p} \quad (18.3)$$

и

$$P_{\phi} = P_T \tau_m = \frac{v_d T_{расч} \tau_m}{1000}, \quad (18.4)$$

или

$$P_{\phi} = \frac{v_d M T_{расч} \tau_m}{1000}. \quad (18.5)$$

Машинное и ручное время в течение смены определяют методом хронометрирования процесса изготовления каждого маркоразмера изделия. Обычно принято относить  $T_m$  и  $T_p$  к расчетной единице продукции — преимущественно к 1 км, реже к 1 т. Следовательно, в минутах на 1 км

$$T'_m = \frac{1000}{v_d k_{зам}}, \quad (18.6a)$$

или в минутах на 1 т

$$T'_m = \frac{1000}{v_d M k_{зам}}, \quad (18.6b)$$

где  $k_{зам}$  — коэффициент замедления, учитывающий постепенные наращивание и снижение скорости соответственно при пусках и остановках машины; определяется эмпирически, обычно принимается равным 1,03—1,05.

Согласно вышеизложенному ручное время затрачивается на выполнение как периодических операций по смене тары или штучной единицы сырья (ролики, бобины), так и непериодических случайных операций по устранению дефектов и т. п.

$$T'_p = \Sigma T'_{i\pi} + \Sigma T'_{ип}.$$

Значения  $T'_{i\pi}$ , мин/км, рассчитываются по следующим формулам:

$$T'_{ij} = \frac{M_{НОМ}}{M_e} t_{ij} \quad (18.7)$$

и

$$T'_{ik} = \frac{1000}{L_e} t_{ik}, \quad (18.8)$$

где  $M_{ном}$  — номинальная масса, кг, различных материалов или полуфабрикатов (медной или алюминиевой проволоки, бумаги, пленки, жорделя, пряжи, нити, бронеленты и т. д.), нормированных на 1000 м заготовки или изделия;  $M_e$  — масса, кг, соответствующего материала на машинной таре или в поставляемой штучной единице (бобине, ролике и т. п.);  $L_e$  — длина заготовки (жилы, группы, пучка, сердечника и т. д.) или кабеля (провода) на отдающей или приемной таре (катушке, барабане);  $t_i$  — длительность выполнения данной ручной операции, мин.

Отношения  $M_{ном}/M_e$  и  $1000/L_e$  соответствуют числу раз  $i$  выполнения данной периодической ручной операции ( $j$  или  $k$ ), входящему на 1 км изготовляемого изделия.

Зная оперативное время, мин, затрачиваемое на изготовление единицы продукции, в частности 1 км,  $T_o = T'_m + T'_p$ , можно определить сменную производительность оборудования, км/смена, по следующей формуле:

$$P_{\Phi} = T_{расч} / T_o. \quad (18.9)$$

Время  $T_o$  является составляющей трудоемкости изделия. Трудоемкость характеризует количество труда, затраченного на изготовление расчетной единицы изделия, и учитывает поэтому как общую продолжительность обработки его на машине  $T_o$ , так и норму обслуживания данной машины рабочими  $A$ .

В общем виде трудоемкость  $\Theta$ , чел-ч/км,

$$\Theta = \frac{T_o}{60} A, \quad (18.10)$$

где  $A$  — число рабочих, обслуживающих машину ( $A \geq 1$ ) или один ход машины ( $A \leq 1$ ).

Трудоемкость изделий, чел-ч/км, связана с производительностью оборудования следующим соотношением:

$$\Theta = \frac{T_{расч} A}{60 P_{\Phi}}, \quad (18.11)$$

или с учетом (18.4)

$$\Theta = \frac{1000 A}{v_l \cdot 60 \tau_m}, \quad (18.12)$$

т. е. трудоемкость изделия обратно пропорциональна производительности оборудования.

Расчет количества оборудования производится исходя из годового задания на выпуск продукции  $\Gamma$  и расчетной производительности машин  $P_{\Phi}$  по формуле

$$N_D = \frac{\Gamma}{P_{\Phi} \Phi_{o, д}}, \quad (18.13)$$

где  $N_D$  — расчетное число машин;  $\Gamma$  — годовое задание на выпуск данного маркоразмера продукции в километрах или тоннах с учетом отходов;  $P_{\Phi}$  — норма производительности единицы оборудования в километрах или тоннах в смену или час;  $\Phi_{o, д}$  — действительный годовой фонд времени работы оборудования в сменах или в часах.

Единицы  $P_{\Phi}$  и  $\Phi_{o, д}$  должны быть согласованы между собой.

Понятие «производительность машины в смену» удобно тем, что при этом объективно оцениваются машинное и ручное время, периодические и особенно непериодические составляющие последнего, коэффициент замедления. Неудобством этого понятия являются, во-первых, различная продолжительность рабочих смен для разного оборудования (8; 7; 6 ч) и, во-вторых, то, что фонд времени оборудования чаще принято выражать в часах.

Поэтому при расчетах можно пользоваться понятием производительности машины, км/ч,

$$P_{\Phi} = \frac{v_{л} \cdot 60 \tau_{м}}{1000}, \quad (18.14)$$

или

$$P_{\Phi} = \frac{A}{\Theta}. \quad (18.15)$$

Неудобство в этом случае заключается в том, что в расчетах не учитывается подготовительно-заключительное время. Его можно учесть, увеличив оперативное время  $T_0$ , отнесенное к единице изделия, в среднем на 5% и вводя вместо него  $T'_0 = 1,05T_0$ .

Тогда

$$\tau_{м} = \frac{T'_м}{T'_0} = \frac{T'_м}{1,05(T'_м + T'_р)} \quad (18.16)$$

и

$$\Theta = \frac{T'_0}{60} A. \quad (18.17)$$

Режим работы цеха или отделения определяется характером технологического процесса. Так, сушильно-пропиточное оборудование и эмаль-агрегаты работают непрерывно без выходных дней; перерыв в работе производится только в праздничные дни. Бумаго-массные машины работают непрерывно в течение рабочей недели, но останавливаются не только в праздничные, но и в выходные дни. Если по технологии не требуется круглосуточная работа, то принимается, как правило, двухсменный режим, так как в третью, ночную смену снижаются производительность труда и качество выпускаемой продукции и учащаются случаи производственного травматизма. Также в две смены организуется работа испытательных станций. Все вспомогательные участки и службы (ремонтно-механические), мастерские изготовления волок и т. д. рассчитываются на односменную работу.

При определении фондов времени оборудования пользуются следующими понятиями.

Календарный фонд времени:

Количество дней в году .	365
Количество часов в году	$365 \times 24 = 8760$
Количество смен в году:	
при односменной работе	365
при двухсменной работе	730
при трехсменной работе . . . . .	1095
при четырехсменной работе (в случае 6-ч смен)	1460



Номинальный фонд времени: в соответствии с принятым режимом работы (без учета потерь времени) количество смен в году

$$\Phi_{0,н} = n_{р,д} n_{см}, \quad (18.18a)$$

или число часов в году

$$\Phi_{0,н} = n_{р,д} n_{см} T_{см}, \quad (18.18б)$$

где  $n_{р,д}$  — число рабочих дней в году;  $n_{см}$  — число смен в сутках;  $T_{см}$  — продолжительность смены в часах.

Понятие режима работы охватывает продолжительность рабочей недели, длительность рабочей смены и как следствие ее число рабочих дней в году. Для цехов и отделений с нормальными условиями работы (а таких в кабельной промышленности большинство) продолжительность рабочей недели составляет 41 ч. При длительности смены в 8,2 ч число рабочих дней в неделе равно 5, а выходных дней 2. Количество рабочих дней в году

$$n_{р,д} = n_k - (n_v + n_{пр}), \quad (18.19)$$

где  $n_k$  — число календарных дней в году;  $n_v$  — число выходных дней в году;  $n_{пр}$  — число праздничных дней в году.

В данном случае

$$n_{р,д} = 365 - (52 \cdot 2 + 8) = 253.$$

При длительности рабочей смены 8 ч число выходных дней уменьшается, а рабочих дней соответственно увеличивается на 6,5 округленно на 7, т. е.  $n_{р,д} = 260$ .

Номинальный фонд времени оборудования в часах в обоих случаях одинаков и равен (с учетом шести предпраздничных дней, когда длительность смены укорачивается на 1 ч):

при односменном графике работы

$$\Phi_{0,н} = (253 \cdot 1 \cdot 8,2) - 6 = 2068,6 \approx 2070 \text{ ч},$$

или

$$\Phi_{0,н} = (260 \cdot 1 \cdot 8) - 6 = 2074 \approx 2070 \text{ ч}.$$

При двухсменном графике — 4140 ч; при трехсменном графике — 6210 ч.

Так как при трехсменной работе длительность рабочих смен составляет  $8 + 8 + 7 = 23$  ч в сутки, то число рабочих дней в году возрастает до 271, а выходных уменьшается до 86.

При расчете оборудования, работающего непрерывно в течение 6-дневной рабочей недели, принимается 52 выходных дня в году, рабочих дней — 305, но в предвыходные (52) и предпраздничные дни (6) длительность смены сокращается на 1 ч.

В цехах и отделениях с вредными условиями работы, например в эмаль-цехах, отделениях гидравлических или червячных прессов для наложения свинцовых оболочек и т. п. продолжительность рабочей недели 36 ч. При 5-дневной (прерывной) рабочей неделе расчетные длительности рабочей смены могут составлять 7,2 или 7 ч; соответственно числа рабочих дней в году будут, как и при 41-часовой рабочей неделе, 253 и 260. Номинальный фонд времени оборудования при одно-, двух- и трехсменном графике работы равен соответственно 1830; 3660 и 5490 ч.

Выполнение проектных расчетов удобнее производить, исходя из 260 рабочих дней в году и длительности рабочей смены соответственно в 8 или 7 ч.

При непрерывной круглосуточной работе оборудования кроме восьми праздничных дней в году номинальный фонд времени

$$\Phi_{o,n}=357 \cdot 24=8570 \text{ ч.}$$

В данном случае

$$\Phi_{o,n}=n_k - n_{пр}. \quad (18.20)$$

Действительный годовой фонд времени оборудования  $\Phi_{o,d}$  — это время, в течение которого должна производиться работа при установленном графике и нормированных потерях времени  $T_{п,o}$  неизбежных для нормально организованного производства:

$$\Phi_{o,d}=\Phi_{o,n}-T_{п,o}. \quad (18.21)$$

К потерям времени оборудования относятся его простои по причине планово-предупредительного ремонта  $T_{п,п,r}$  и кратковременного отсутствия рабочих  $T_{к,o}$

$$T_{п,o}=T_{п,п,r}+T_{к,o}. \quad (18.22)$$

Потери времени принято нормировать в процентах номинального фонда времени. Процент потерь времени на ремонт оборудования зависит, во-первых, от его категории сложности и, следовательно, ремонтоемкости и, во-вторых, от принятого режима работы (естественно, при трехсменном графике оборудование изнашивается быстрее и ремонтируется чаще, чем при двухсменном). Указанные потери времени составляют от 1,5 до 14%  $\Phi_{o,n}$ . Потери времени на простой оборудования из-за кратковременного отсутствия рабочих принимаются равными 1% от  $\Phi_{o,n}$ .

Получаемое по формуле (18.13) расчетное число единиц оборудования  $N_p$ , как правило, дробное. Принятое число машин  $N_{пр}$  получается округлением расчетного до ближайшего целого при условии учета коэффициента загрузки

$$K_{загр}=N_p/N_{пр}.$$

Если  $N_{пр} < N_p$ , то  $K_{загр}$  не должен превышать 1,1—1,2. Тем самым в проекте предусматривается возможность увеличения на 10—20% производительности оборудования против паспортной за счет организационно-технических мероприятий. Если же  $N_{пр} > N_p$ , то  $K_{загр}$  должен быть в подавляющем большинстве случаев не менее 0,75—0,80. Исключение могут составить такие результаты, как, например,  $N_p=1,4$ , когда приходится принимать  $N_{пр}=2$ , и т. п.

Расчетное количество сушильно-пропиточных котлов и тому подобного оборудования находится по следующей формуле:

$$N_{р,сп} = \frac{\Gamma T_{ц}}{E \Phi_{o,d}}, \quad (18.23)$$

где  $T_{ц}$  — длительность технологического цикла, ч;  $E$  — смкость оборудования, км (т);  $\Phi_{o,d}$  — действительный годовой фонд времени, ч.

Все рабочие цеха, отделения или участка разделяются на производственных и вспомогательных. Количество производственных рабочих  $W$  определяется для каждого вида оборудования по формуле

$$W = \frac{N_p \Phi_{o, д} A}{\Phi_{p, д}}, \quad (18.24)$$

где  $N_p$  — расчетное количество единиц оборудования данного вида;  $\Phi_{o, д}$  — действительный годовой фонд времени оборудования, ч;  $\Phi_{p, д}$  — действительный годовой фонд времени рабочих, ч;  $A$  — норма обслуживания оборудования, чел.

Действительный годовой фонд времени рабочих равен номинальному фонду  $\Phi_{p, н}$  за вычетом потерь рабочего времени  $T_{п, р}$ , связанных с очередными отпусками, декретными отпусками, болезнями, отпусками по учебе, сокращенным рабочим днем подростков в возрасте от 16 до 18 лет, выполнением государственных обязанностей. Рабочие всех профессий в зависимости от вредности работы делятся на три категории с продолжительностью отпуска соответственно 15; 18 и 24 дня. С учетом разницы в длительности отпусков суммарные потери рабочего времени для каждой из категорий составляют от 10 до 13% номинального годового фонда

$$\Phi_{p, д} = \Phi_{p, н} - T_{п, р} = \Phi_{p, н} - \gamma \Phi_{p, н} = \Phi_{p, н} (1 - \gamma), \quad (18.25)$$

где  $\gamma = 0,10 \div 0,13$ .

В табл. 18.2 дан расчет действительного годового фонда времени рабочих. В случаях, когда цехи, отделения или отдельные

Т а б л и ц а 18.2

### Фонды времени рабочих

Продолжительность рабочей недели, ч	Продолжительность основного отпуска, дни	Номинальный годовой фонд времени, ч	Потери, % номинального фонда времени	Действительный годовой фонд времени, ч
41	15	2070	10	1860
41	18	2070	11	1840
41	24	2070	13	1800
36	24	1830	13	1590

агрегаты функционируют круглосуточно и без остановки в выходные дни, рабочие работают бригадно по графику с соблюдением месячного баланса времени.

## 18.3. ПЛАНИРОВКА ЦЕХОВ И ОТДЕЛЕНИЙ

Планировка цеха (отделения) включает: выбор типа здания, а именно этажности, сетки колонн, высоты до перекрытия или до подкрановых путей; размещение основного технологического обо-

рудования; размещение испытательных станций, ремонтно-механических участков, площадок складирования материалов и полуфабрикатов, бытовых помещений; организацию проездов, проходов, транспортных грузопотоков.

Многоэтажные здания применяются для размещения легкого многочисленного оборудования, например обмоточных и оплеточных машин, легких крутильных машин, небольших экструдеров и т. п. Однако высокоскоростное оборудование, устанавливаемое в многоэтажных цехах, из-за вибрации перекрытий не может использоваться на паспортных скоростях (повышение обрывности на волоочильных машинах и поточных линиях, касание соседних проволок на вертикальных эмаль-агрегатах, повышенная обрывность волокнистых изоляционных материалов на обмоточных и оплеточных машинах). Несмотря на сокращение капитальных затрат при постройке многоэтажных зданий по сравнению с одноэтажными, выбор многоэтажного завода для кабельной промышленности должен быть тщательно обоснован. Многоэтажные здания имеют сетку колонн (расстояния между колоннами в поперечном и продольном направлении)  $6 \times 6$  м. Высота этажей 4 м.

Громоздкое, тяжелое и высокоскоростное оборудование размещается в одноэтажных зданиях. Пролеты одноэтажных промышленных зданий делают шириной 12, 18, 24, 30 и 36 м. Шаг колонн 6 или 12 м. В кабельной промышленности наиболее распространены здания с пролетами шириной 18 (или 24) м и шагом колонн 12 м.

Расположение оборудования должно обеспечить: минимальные размеры площади, занимаемой цехом (отделением); прямоточный технологический поток без возвратных и встречных потоков; кратчайшие пути движения материалов и полуфабрикатов; удобство обслуживания всех машин; наличие необходимых мест для цеховых и промежуточных складов сырья и полуфабрикатов; соблюдение всех правил охраны труда, техники безопасности и пожарной безопасности; соблюдение норм разрывов между машинами, от машины до стены, колонны, проезда.

В связи с развитием поточных линий, объединяющих несколько технологических процессов в один, изменяются принципы расположения оборудования. Такое объединение исключает необходимость промежуточных складов, сокращает количество отдающей и приемной тары, так как заготовка из одной машины поступает непосредственно в последующую машину (агрегат) или принимается в промежуточную тару (контейнеры) большой емкости, обеспечивающую длительную безостановочную работу поточных линий.

Применение элементов механизации и автоматизации, а также развитие социалистического соревнования за обслуживание одним рабочим (работницей) увеличенного количества машин или ходов вызывает необходимость установки отдельных машин в удобном порядке для их обслуживания (размещение машин в непосредственной близости одна от другой, размещение машин рабочими сторонами к обслуживаемому рабочему и др.).

Применяются следующие схемы размещения технологического оборудования.

1. Продольное расположение, при котором оборудование устанавливается вдоль пролетов в последовательности, соответствующей технологическому процессу. Такая схема наиболее удобна при расстановке машин большой длины или при протяженной технологической цепочке. Продольное размещение оборудования в цехе являет-

ся наиболее прогрессивным, способствующим широкому применению поточных линий в кабельном производстве, и получило наибольшее практическое распространение. Группы однородных поточных линий устанавливают последовательно одна за другой и полуфабрикат с одной группы поточных линий принимают на промежуточную тару, непосредственно передавая ее с одного участка на другой.

2. При поперечном расположении, оборудование устанавливается поперек пролетов. Вследствие того, что кабельные машины явля-

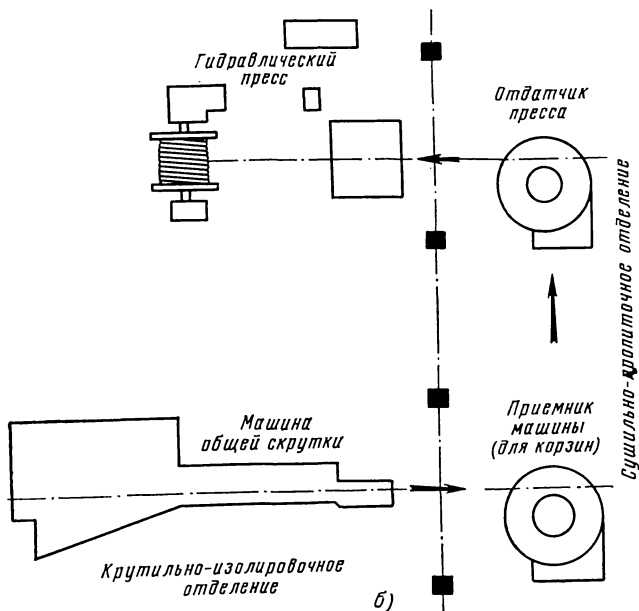
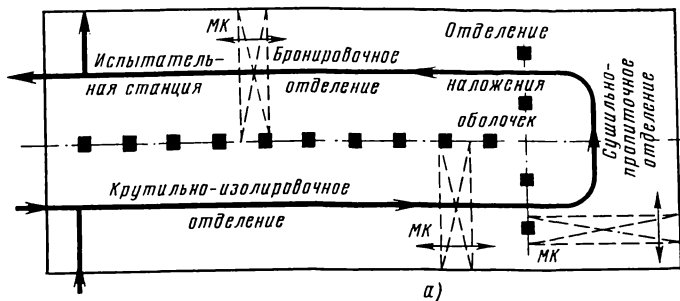


Рис. 18.2. П-образное размещение технологического оборудования в цехе силовых кабелей.

а — схема; б — расположение оборудования.

ются одновременно конвейерами, перемещающими изготавливаемое изделие, транспортировка полуфабрикатов из пролета в пролет производится непосредственно самими машинами. Такой метод расстановки удобен при небольшой длине машин; в противном случае пролеты целиком будут перегорожены машинами и нельзя будет организовать продольный проезд.

3. Смешанное продольно-поперечное расположение применяется чаще всего при малом объеме производства, так как позволяет наиболее эффективно использовать площади и транспортные средства.

При слишком протяженной технологической цепочке целесообразно осуществлять поворот технологического потока посредством применения здания с поперечным пролетом, примыкающим к продольным. Примером такой компактной, рациональной и широко распространенной схемы является П-образная конфигурация цеха силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией, показанная на рис. 18.2,а. Поворот технологического потока в зоне сушильно-пропиточного отделения удобен и при соответствующих расположениях приемников трехфазных машин и отдающих устройств прессов для наложения металлических оболочек (рис. 18.2,б) не вызывает никаких затруднений при передаче полуфабрикатов из пролета в пролет.

Весьма распространенной ошибкой при поперечном расположении оборудования является размещение машины целиком, включая отдающее и приемное устройства, в одном пролете. При этом исключается возможность передачи полуфабрикатов из пролета в пролет посредством мостовых кранов, зона действия которых ограничена рядами колонн, образующих пролет. Во избежание этого какая-либо часть машины — отдающее или приемное устройство — должна находиться в смежном пролете. При расстановке оборудования согласно рис. 18.2 крутильная клеть и обмотчики трехфазных машин находятся в сфере действия крана продольного крутильно-изолировочного отделения, а приемные устройства обслуживаются краном поперечного сушильно-пропиточного отделения. Этот же кран обслуживает отдающие устройства гидравлических прессов для наложения свинцовой или алюминиевой оболочки, приемные устройства которых в свою очередь находятся в зоне, охватываемой краном бронировочного отделения.

План цеха, как правило, выполняется в масштабе 1:200, а план отделения — в масштабе 1:100. Из бумаги в указанном масштабе вырезаются так называемые габаритки машин, соответствующие по форме их конфигурации. Наиболее целесообразное размещение оборудования определяется после сопоставления различных вариантов расположения его габаритов на плане. После выбора окончательного варианта вычерчивается план расстановки машин. На плане каждой машины обозначаются: расположение электродвигателей, термической, сварочной или трансформаторной нагрузки, места подвода воды, пара, сжатого воздуха, вентиляционных отсосов, а также место управления машиной. Направления движения материалов, полуфабрикатов и готовой продукции по ходу технологического процесса указываются на плане цветными линиями со стрелками.

При параллельном расположении однотипных машин они могут устанавливаться одна к другой рабочими или тыльными сторонами в зависимости от общей планировки цеха (отделения), орга-

низации проездов и проходов, системы обслуживания машин. В первом случае расстояния между машинами должны быть 1000—2000 мм (для некоторых, например, вертикальных стеклообмоточных машин, 2500 мм); во втором случае — указанные расстояния меньше — 600—1000 мм (для отдельных машин также 2500 мм). Расстояние от рабочей стороны машины до стены или колонны 1000—2500 мм, от тыльной стороны 600—1800 мм (с отдельными исключениями до 2000—3000 мм) и от торца 600—2500 мм. Расстояния до проезда составляют: от рабочей стороны машины 800—2000 мм, от тыльной стороны 400—1000 мм и от торца 600—3000 мм.

## 18.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

Себестоимость кабелей и проводов  $C_b$  складывается из стоимости материалов  $M$ ; транспортно-заготовительных расходов  $T_p$  (принимаются равными 3% стоимости материалов, т. е.  $T_p = \alpha M$ , где  $\alpha = 0,03$ ); основной зарплаты  $Z_n$ ; накладных расходов  $H$ , которые берутся в процентах к основной зарплате, делятся на цеховые расходы  $H_c$  и заводские расходы  $H_z$  и принимаются в среднем

$$H_c = 300\%, \text{ т. е. } H_c = 3 Z_n = \beta_c Z_n; \beta_c = 3;$$

$$H_z = 100\%, \text{ т. е. } H_z = Z_n = \beta_z Z_n; \beta_z = 1;$$

$$C_b = M + T_p + Z_n + H_c + H_z = M + \alpha M + Z_n +$$

$$+ \beta_c Z_n + \beta_z Z_n = M + 0,03M + Z_n + 3Z_n + Z_n = 1,03M + 5Z_n. \quad (18.26)$$

Итак, заводская стоимость продукции в конечном счете определяется стоимостью материалов и стоимостью трудозатрат. В кабельном производстве стоимость материалов, как правило довольно дорогих, значительно (на порядок) превалирует над стоимостью труда, затраченного на изготовление кабелей и проводов. Цеховые накладные расходы используются в качестве заработной платы вспомогательным рабочим (транспортным рабочим, в том числе крановщикам, слесарям-наладчикам, электромонтерам, контролерам отдела технического контроля — ОТК), инженерно-техническим работникам (ИТР), счетно-конторскому персоналу (СКП) и младшему обслуживающему персоналу — уборщицам и т. п. (МОП), а также начислений на амортизацию оборудования.

Заводские накладные расходы служат для содержания штата заводоуправления. Следует иметь в виду, что в зависимости от структуры завода в целом и его цехов, от номенклатуры выпуска продукции процент цеховых и заводских расходов может колебаться. Стоимость материалов зависит от их массы и цены и подсчитывается на потребность по плану.

Потребность в материалах определяется по технической документации на изделия, в которой указываются номинальные массы материалов без учета отходов. В любом производстве, в том числе кабельном, неизбежны отходы материалов (на заправочные концы,

отрезки для проведения контрольных испытаний и др.). Процент отходов нормирован для каждого материала дифференцированно.

Зарплата производственных рабочих зависит от трудоемкости изготовления изделий, определяемой для каждой технологической операции, и тарифной ставки рабочих, выполняющих данную операцию,

$$Z_n = \Theta T_f, \quad (18.27)$$

где  $\Theta$  — трудоемкость данной операции, чел-ч/км;  $T_f$  — тарифная ставка, руб/чел-ч (или просто руб/ч);  $Z_n$  — зарплата, руб/км.

Как определяется трудоемкость, показано в § 18.2. Следует иметь в виду, что если одну машину обслуживают несколько рабочих, то в (18.27) подставляется их средняя тарифная ставка, так как всегда определяется не индивидуальная, а суммарная зарплата, т. е. стоимость выполнения данной операции в целом.

После расчета основной зарплаты и стоимости материалов определяется себестоимость каждого маркоразмера изделия. Данные сводятся в таблицу с перечислением: материалов, транспортно-заготовительных операций, основной зарплаты, накладных расходов — цеховых и заводских.

В тех случаях, когда практикуется приведение номенклатуры выпуска изделий данной группы к одному представителю, например городских телефонных кабелей различной емкости к кабелю

№ п/п.	Наименование показателя	Единица	Проектные данные
--------	-------------------------	---------	------------------

### I. Абсолютные показатели

1	Выпуск в год	км или т	
2	То же	тыс. руб.	
3	Общая площадь	м <sup>2</sup>	
4	В том числе производственная площадь	м <sup>2</sup>	
5	Общее число работающих	чел.	
6	В том числе рабочих	чел.	
7	Из них производственных рабочих	чел.	

### II. Относительные показатели

1	Выпуск с 1 м <sup>2</sup> общей площади	км/м <sup>2</sup> или т/м <sup>2</sup>	
2	То же	руб/м <sup>2</sup>	
3	Выпуск с 1 м <sup>2</sup> производственной площади	т/м <sup>2</sup>	
4	То же	руб/м <sup>2</sup>	
5	Выпуск на 1 работающего	км/чел. или т/чел.	
6	То же	руб/чел.	
7	Выпуск на 1 производственного рабочего	км/чел. или т/чел.	
8	То же	руб/чел.	



50 × 2, можно в первом приближении определять себестоимость не для каждого маркоразмера, а только для базового, являющегося основой приведения.

Различают понятия заводской и полной себестоимости. Вторая больше первой на так называемые внепроизводственные расходы. Это расходы на упаковку некоторых видов кабелей и проводов в мягкую тару и т. п. Так как внепроизводственные расходы невелики (1% заводской себестоимости), то их можно в проекте не учитывать и приравнять полную себестоимость к заводской.

Оптовая цена  $C$  изделия складывается из его себестоимости  $Cб$  и прибыли  $Pr$ , которая в кабельном производстве планируется в среднем в размере 10% себестоимости

$$C = Cб + Pr = Cб + 0,10Cб = 1,1Cб. \quad (18.28)$$

Технико-экономические показатели проектируемого цеха или отделения разделяются на абсолютные показатели и относительные. И те и другие принято сводить в таблицу по форме, приведенной на стр. 618.

Выпуск в денежном выражении определяется по оптовым ценам изделий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство электрических кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией/ О. Ш. Бабицкий, И. Ш. Берин, Л. С. Лахман, И. Д. Троицкий. — М.: Высшая школа, 1972. — 400 с.
2. Бабицкий О. Ш., Лехтман Л. М. Технология скрутки кабелей. — М.: Энергия, 1978. — 136 с.
3. Кабели и провода. Том III. Производство кабелей и проводов с пластмассовой и резиновой изоляцией, обмоточных проводов с эмалевой и волокнистой изоляцией/ Под ред. Н. И. Белоруссова и В. А. Привезенцева. — М.: Энергия, 1964. — 470 с.
4. Белоруссов Н. И., Гроднев И. И. Радиочастотные кабели. — М.: Энергия, 1973. — 328 с.
5. Глупушкин П. М., Саакян А. Е., Щербаков Д. П. Кабельные резины. — М.: Энергия, 1966. — 356 с.
6. Городецкий С. С., Лакерник Р. М. Испытания кабелей и проводов. — М.: Энергия, 1971. — 272 с.
7. Кабыстина Г. Ф. Обмоточные провода с волокнистой изоляцией и технология их производства. — М.: Энергия, 1976. — 174 с.
8. Князевский Б. А., Чекалин Н. А. Техника безопасности и противопожарная техника в электроустановках. — М.: Энергия, 1973. — 218 с.
9. Кабели и провода. Том II. Производство кабелей с бумажной изоляцией/ Под ред. В. А. Привезенцева и Д. Л. Шарле. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1962. — 472 с.
10. Пешков И. Б. Эмалированные провода. — М.: Энергия, 1975. — 167 с.
11. Основы кабельной техники/ Под ред. В. А. Привезенцева. — М.: Энергия, 1975. — 472 с.
12. Привезенцев В. А., Ларина Э. Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии/ Под ред. В. А. Привезенцева. — М.: Энергия, 1970. — 424 с.
13. Привезенцев В. А., Пешков И. Б. Обмоточные и монтажные провода. — М.: Энергия, 1971. — 552 с.
14. Сборник задач по расчету и конструированию кабелей и проводов/ Под ред. Д. Л. Шарле. — М.: Энергия, 1963. — 96 с.
15. Третьяков В. М., Холодный С. Д. Сушка и пропитка силовых кабелей. — М.: Энергия, 1978. — 136 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

- Автоматические поточные линии изготовления кабелей связи 225
- — — — контрольных кабелей 236
- — — — силовых кабелей 227
- Агрегаты аргоно-дуговой сварки 486
- высокочастотной сварки 493
- для изготовления коаксиальных пар 358
- — — обмоточных проводов ПСД 148
- — — транспонированных проводов 377
- — лакировки проводов 551
- — наложения бумагомасной изоляции 344
- — отливки шайб 312
- — производства эмалированных проводов 286, 301, 305
- — — прямоугольных проводов 913
- Б-30 305
- Г-20 307
- ВЛКНВ 515
- ВРЕ 308
- ВРЕЖП-36 313
- ЛДО-ОН/К 298
- ЛКНВ 514
- — М-24 302
- НЛКНВ 515
- НОРЕ-192 294
- ПГЗ-5/15 297
- ПГЗ-30/110 312
- С-24 302
- экструзионные 220

### Б

Бобины пряжи 57

Бронеобмотчики 558  
Бухты 244

### В

- Вальцы листовальные 521
- уплотняющие жил силовых кабелей 116
- Ванна битумная 552
- — для наложения изоляции из расплава 340
- меловая 552
- Вентиляция запорная 303
- отсасывающая 309
- Время запечки эмальлака 333
- Вулканизация 215
- полиэтиленовой изоляции 249
- резиновой изоляции 267
- Выделение вредные 595
- Вязкость эмаль-лаков 321

### Г

- Газовая циркуляция в эмаль-агрегате 296
- Гидроразбиватель бумажной массы 347
- Гладилка винтообразная 353
- Глубина нарезки червяка 233
- Головка свинцового пресса 448
- червячного пресса 453
- экструдера 207
- — для двухслойного наложения изоляции 219
- Головки экструдера характеристики 209
- Гофрирование бумажной изоляции 165
- оболочки 501
- — вращающимся кольцом 505
- — прокаткой зубчатыми валками 507
- Гофр винтовой гармониевидный 502

Гофр синусоидальный 502

— трапециевидный 502

Грат 499

## Д

Дегазация масла 428

Деформации срезающие 194

Документация технологическая 47

Дополнительная обработка резиновых смесей 581

Допустимые концентрации вредных веществ 596

Дорн 207

Дорнодержатель 207

## Ж

Жидкость вязкая 194

— ньютоновская 196

## З

Загрузка крутильных машин 109

Зазор между червяком и цилиндром 235

Затвор паровой ЛКНВ 277

— промежуточный 277

Зона дозирующая 194

— нагрева цилиндра 241

— сжатия 194

## И

Изготовление жил маслонаполненных кабелей 125

— кабелей с минеральной изоляцией 370

— коаксиальных пар 357

— — ленточных проводов 250

— монтажных проводов и РК с фторопластовой изоляцией 182

— обмоточных проводов с бумажной изоляцией 181

— — — с изоляцией из синтетических пленок 181

— — — со стекловолокнистой изоляцией 186

— подразделенных и транспортированных проводов 375

— — силовых кабелей 120

Измерители длины 27

Изолирование высоковольтных кабелей 155

— кабелей связи с пористой бумажной изоляцией 344

Индекс расплава 200

Инструкция технологическая 48

Инструмент формирующий для наложения ПВХ изоляции 246

— — — ПЭ изоляции 208, 229, 241

— — — свинцовой оболочки 460

## К

Кабельные линии непрерывной вулканизации вертикальные 273

— — — горизонтальные 268

— — — наклонные 273

Каландрование 585

Калибр уплотняющий 164

Калибров маршрут 323

Камера вулканизации ЛКНВ 275

— заправочная 275

— охлаждения 278

Карта маршрутная 48

Количество полимера, поступающего в головку экструдера 204

Колонка конденсационная 428

Компенсатор 32

Компрессия 191

Константа сопротивления канала 199

Контейнер гидравлического пресса 448

— червячного пресса 453

Конус с поддоном 34

Корделеобмотчик 169

Корзина 48

— для сушки и пропитки кабелей 423

Котлы вакуумные колокольного типа 430

— вулканизационные 267

— сушильно-пропиточные 420

Коэффициент волновой скрутки 83

— трения 193

— уплотнения воздушно-бумажной изоляции 166

Критическая скорость сдвига 200

Крутильное устройство бронировочной машины 558

## Л

- Лак винифлекс 322
- металвин 322
- полиэфирный 322
- Лакировка проводов 549
- — погружением 302
- — с помощью калибров 312
- — фитилей 300
- Лаконаносящее устройство валкового типа 300
- Лакоподача эмаль-агрегата 290
- Лентообмотчик 169
- Линии поточные 220
- — для городских кабелей 225
- — — контрольных кабелей 226
- — — силовых кабелей 225
- — непрерывной вулканизации 281
- Люлька крутильной машины 68

## М

- Матрица 206
- двухконусная 232
- Матрицедержатель 206
- Машины бронировочные 553
- волновой скрутки 79
- двухрамочные 72
- дисковые 64
- жесткорамные крутильные 64
- ИЖ-32 139
- карусельные 538
- клетьевые 62
- — с вращающимся тяговым и приемным устройством 65
- кордельно-обмоточные 171
- крутильные 50
- ленто- и пряжеобмоточные 139
- обмоточные для пряжи 185
- однонаправленной скрутки 60
- оплеточные 534
- разнонаправленной скрутки 79
- — циклической скрутки 79
- — — с одним вращающимся нереверсивным накопителем 88
- рамочного типа 67
- сигарообразные 67

- Машины с рамкой, вращающейся вокруг приемного устройства 70
- Мельница коническая 249
- Механизм возвратно-поступательный приемного устройства 39
- открутки 76
- раскладки 35
- — с возвратно-поступательным движением 35
- — — червяком 37
- регулирования скорости приемного устройства 40
- Муфта скольжения 43
- фрикционная 40

## Н

- Нагрев алюминиевых слитков 476
- зон цилиндра экструдера 241
- кабелей электрическим током 441
- Накопители 19
- вращающиеся 83
- — нереверсивные 83
- — реверсивные 83
- проволоки 337
- Наложение алюминиевой оболочки 479
- алюмополиэтиленовой оболочки 479
- баллонной ПЭ изоляции 255
- брони и защитных покровов 553
- — профильной 569
- бумажной и пленочной изоляции на обмоточные провода 178
- волокнистой защитной оплетки 544
- и вулканизация резиновой изоляции 267
- изоляция на кабели связи 254
- — с вытяжкой 230
- кордельно-трубчатой изоляции 261
- ленточной изоляции 169
- — с тепловой обработкой 182
- металлических оболочек 445
- ПВХ изоляции 243

Наложение ПВХ оболочки и шланга 512  
— пористой ПЭ изоляции на кабели связи 256  
— ПЭ оболочки и шланга 508  
— — сшитой изоляции 251  
— свинцовой оболочки 446  
— — — легированной 466  
— сплошной ПЭ изоляции 258  
— фторопластовой изоляции 263  
Насосы вакуумные 426  
— высокого давления 450  
— двухроторные 427  
— плунжерные 427

## О

Обдув провода воздухом 243  
Облучение проводов 252  
Обмотка встык 130  
— жил кабелей связи 161  
— маслонаполненных кабелей 155  
— пряжей 185  
— силовых кабелей 153  
— спиральная 128  
— стеклопряжей с подклейкой 186  
— шаг 131  
Обмотки плоские 143  
— протые или наклонные 141  
— тангенциальные и полутангенциальные 143  
Оборудование кабельное, классификация 8  
Объемный расход 198  
Операционный контроль 589  
Определение себестоимости продукции 617  
— технико-экономических показателей 617  
Организация технического контроля 587  
Освещение электрическое 594  
Открутка при скрутке 73  
Охлаждение кабеля 240  
— цилиндра экструдера 241  
— червяка экструдера подогретым маслом или водой 237

## П

Параметры экструзионного агрегата 219  
Перекрытие (зазор) ленты 132

Перемещение материала в загрузочной зоне экструдера 192  
— осевое 194  
Перемотка полуфабриката, заготовок и готовых кабелей 570  
Печи отжига 306  
Питание экструдера пластикатом 247  
Планировка цехов и отделений 613  
Пластикация натурального каучука 570  
Плато вулканизации 268  
Плотность оплетки 529  
Показатели текучести расплава 200  
Полуавтоматическая поточная линия силовых кабелей 225  
Поток обратный 202  
— прямой 202  
— тепловой в эмали-агрегате 295  
— утечки 209  
Поточные линии 220  
Поршень гидравлического цилиндра 448  
Прессы гидравлические 446  
— — для наложения алюминиевой оболочки 471  
— червячные для свинца 451  
Пресс-штемпель 448  
Прессование алюминиевых жил 120  
Прессовая головка 448  
Прием на барабан 40  
— — контейнер 33  
— — конус 33  
Приставка волочения к эмали-агрегату 342  
Производственная санитария 592  
Пропитка проводов 547  
— силовых кабелей 417  
— скорость 418  
Просев сыпучих материалов 579  
Противодавление 200  
Противопожарная техника 600  
Процессы технологические 5  
Пряжеобмотчик 558

## Р

Разгрузка крутильной машины групповая 109

Разрыв (излом) расплава 200  
Распарка каучуков 578  
Расплав 194  
Распределение давления вдоль червяка 201  
Расцветка изоляции жил кабеля 228  
Расчет количества оборудования и рабочих 604  
Регулятор напряжения 47  
Режим изготовления подразделенных проводов 376  
— изолирования жил городских кабелей связи 168  
— — проводов с бумажной изоляцией 180  
— — — со стекловолоконистой изоляцией 188  
— — — с эмалево-волоконистой изоляцией 185  
— наложения бумаго-массной изоляции 355  
— — ПВХ изоляции 245  
— — оболочки 513  
— — ПЭ изоляции 239  
— — ПЭ оболочки 509  
— — резиновой оболочки 522  
— — свинцовой оболочки 465  
— — фторопластовой изоляции 267  
— работы ЛКНВ 283  
— сушки и пропитки силовых кабелей 433  
— фильтрации резиновых смесей 584  
Резка бумаги и пленки на ленты 572  
Реологические свойства расплава полимера 195  
Реология 195  
Решетка экструдера 192  
Ролл для размола целлюлозы 347

## С

Сварка алюминиевых и стальных оболочек 485  
— высокочастотная 493  
— дуговая в среде защитного газа 485  
Свойства резиновых смесей 214  
Сдвиг напряжения 196  
— скорости 196  
Сердечник резиновый профилированный 388

Сетки металлические фильтрующие 192  
Сжигание отходящих газов каталитическое 295  
Система автоматического регулирования сварки 497  
Скорость, градиент 196  
— критическая 200  
— линейная 59  
— сдвига 196  
Скрутка 50  
— волновая 79  
— герметизированных жил 113  
— кабелей связи в пары и четверки 395  
— — — — — четверки 399  
— изолированных жил в кабель 382  
— — — на клетевых машинах 389  
— — — — — машинах рамочного типа 392  
— — — — — с вращающимся тяговым устройством и приемником 391  
— — — — — сигарных машинах 392  
— кабелей 394  
— — связи волновая 412  
— — — повивная 403  
— — — пучковая 410  
— коаксиальных кабелей 408  
— левая 52  
— мнимая 54  
— многовитковая 83  
— неизолированных проводов 92  
— одинарная 53  
— одновитковая разнонаправленная 83  
— однонаправленная 35  
— полых неизолированных проводов 96  
— правая 53  
— разнонаправленная (SZ) 55 413  
— с откруткой 74  
— симметричных кабелей связи 405  
— токопроводящих жил различной гибкости 97  
— четвертная 72  
— циклическая 83  
— шаг 57

Смешение каучуков с другими материалами 581  
Совмещение волочения с эмалированием 341  
Сравнение гидравлических и червячных прессов 469  
Степень запечки эмаль-лака 332  
Стрэнга 97  
Структура завода и цеха 602  
Сушка вакуумная 416  
— кабелей связи 435  
— и пропитка бумажной изоляции силовых кабелей 414  
— — — кабелей на напряжение до 35 кВ 420  
— — — — — 110 кВ и выше 423  
— ПВХ пластиката 244  
— сыпучих материалов 579  
Сшивка ПЭ изоляции 251

**Т**

Тара приемная 243  
Температурная кривая эмаль-печи 330  
Тепловое излучение 595  
Техника безопасности 592  
Технические данные клетевых машин 107  
— — машин рамочного типа 110  
— — сигарных машин 105  
— параметры экструзии 229  
Тормозящее влияние боковых стенок 213  
Трения коэффициент 192  
Тростка нитей и проволока 574

**У**

Угол дорна 231  
— закрутки 82  
— матрицы 231  
— нарезки червяка 234  
— оплетки 532  
Уплотнение жил 115  
Управление качеством 590  
Усадка фторопласта 266  
Ускоритель электронов 252  
Установка компрессорная холодильная 160  
Устройства отдающие 12  
— — безынерционные 17, 112  
— — контейнерные 18  
— — на опорных валках и роликах 12  
— — осевые 12

— — пинольные 12  
— — с принудительной разметкой жил 15  
Устройства приемные безосевые 35  
— — осевые 30  
— — пинольные 31  
— — сдвоенные 32  
— тяговые гусеничные 24  
— — колесные 21

**Ф**

Фильтрация резиновых смесей 583  
— эмаль-лака 336  
Формующий инструмент 229

**Х**

Характеристики агрегатов высокочастотной сварки 498  
— бронировочных машин 557  
— гидравлических прессов для алюминиевых оболочек 478  
— — дорна ЛКНВ 282  
— кордельно-лентообмоточных машин 173  
— ЛКНВ для наложения резиновых оболочек 516  
— обмоточных машин для изоляции силовых кабелей 149  
— оплеточных машин 542  
— червяка экструдера 209  
— червячных прессов 459

**Ц**

Цилиндр гидравлического прес-са 448  
— сетчатый 351  
— экструдера 191  
Цилиндрическая часть матрицы 232

**Ч**

Червяк 191  
— глубина нарезки 233  
— пресса наложения свинца 453  
— угол нарезки 234  
— характеристика 209  
— шаг нарезки 234  
— ширина гребня нарезки 235

**Ш**

Шаг скрутки 57  
— — кратность 57  
— нарезки червяка 234  
— укладки 82



Ширина гребня нарезки червяка 235

Шумы производственные 594

### Э

Экструдер 189

— двухчервячный 219

— — ПВХ изоляции 244

— для ПЭ изоляции 219

— — резиновой изоляции 274

Экструдеры прямоточные 216

— — с косоугольной головкой 216

— — прямоугольной головкой 216

— Т-образные для резиновых оболочек 221

— У-образные 221

Эмалирование 286

— без применения растворителей 318

— из расплава смолы 338

— погружением 315

— с помощью газовых калибров 318

— — — металлических калибров 318

— — — фетровых обжимов 318

— — — фитилей 318

— способы и технология 314

— электростатическое 329

— электрофоретическое 329

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<b>Глава первая. Общие сведения о кабельном производстве</b>	<b>5</b>
1.1. Основные технологические процессы	5
1.2. Классификация кабельного оборудования	8
1.3. Основные механизмы кабельных машин	10
1.4. Отдающие устройства	12
1.5. Накопители	19
1.6. Тяговые устройства	20
1.7. Измерители длины	27
1.8. Приемные устройства	30
1.9. Механизмы раскладки	35
1.10. Механизмы регулирования скорости приемного устройства	40
1.11. Технологическая документация	47
<b>Глава вторая. Крутильные машины</b>	<b>49</b>
2.1. Принцип действия крутильных машин	49
2.2. Технологические параметры процесса скрутки	57
2.3. Машины однонаправленной скрутки	60
2.4. Открутка при скрутке	73
2.5. Машины разнонаправленной скрутки	79
<b>Глава третья. Скрутка токопроводящих жил и изолированных проводов</b>	<b>92</b>
3.1. Скрутка изолированных проводов для линий электропередачи	92
3.2. Скрутка полых изолированных проводов	96
3.3. Скрутка токопроводящих жил различной гибкости	97
3.4. Скрутка герметизированных токопроводящих жил	113
3.5. Скрутка круглых и фасонных жил силовых кабелей. Уплотнение жил	114
3.6. Особенности изготовления однопроволочных круглых и фасонных жил силовых кабелей	120
3.7. Особенности изготовления токопроводящих жил маслонаполненных кабелей	126
<b>Глава четвертая. Наложение изоляции методом обмотки</b>	<b>128</b>
4.1. Технологические параметры обмотки	128
4.2. Ленто- и нитеобмоточные машины	139
4.3. Обмотка бумажными лентами жил силовых кабелей на напряжение 1—35 кВ	153
4.4. Особенности наложения изоляции на жилы маслонаполненных кабелей	155
4.5. Наложение бумажной ленточной изоляции на жилы кабелей связи	161

4.6.	Наложение кордельно-ленточной изоляции на жилы кабелей связи	169
4.7.	Наложение бумажной и пленочной изоляции при изготовлении обмоточных проводов	178
4.8.	Наложение ленточной фторопластовой изоляции при изготовлении монтажных проводов и радиочастотных кабелей	182
4.9.	Наложение волокнистой изоляции на обмоточные провода	183
<b>Глава пятая. Экструдеры для пластмасс и резин</b>		189
5.1.	Принцип действия экструдера	189
5.1.1.	Перемещение материала в загрузочной зоне экструдера	192
5.1.2.	Реологические свойства расплавов полимеров	195
5.1.3.	Течение расплава полимера в дозирующей зоне экструдера	200
5.2.	Расчет процесса экструзии	204
5.2.1.	Расчет количества полимера, поступающего в головку	204
5.2.2.	Упрощенный расчет общей объемной производительности экструдера	206
5.3.	Уточненные методы расчета экструзии	210
5.4.	Особенности расчета экструдеров для переработки резиновых смесей	214
5.5.	Классификация экструдеров	216
5.6.	Экструзионные агрегаты и поточные кабельные линии совмещенных процессов	220
5.7.	Формующий инструмент и технологические параметры экструзии	229
<b>Глава шестая. Наложение пластмассовой и резиновой изоляции методом экструзии</b>		238
6.1.	Типовой технологический процесс наложения полиэтиленовой изоляции на экструзионных агрегатах	238
6.2.	Типовой технологический процесс наложения поливинилхлоридной изоляции на экструзионных агрегатах	243
6.3.	Наложение сплошной пластмассовой изоляции на жилы силовых кабелей и проводов различного назначения	247
6.4.	Особенности наложения сшитой полиэтиленовой изоляции	251
6.5.	Наложение сплошной и баллонной пластмассовой изоляции на жилы кабелей связи	254
6.6.	Наложение пористой полиэтиленовой изоляции на жилы кабелей связи	256
6.7.	Наложение сплошной и кордельно-трубчатой полиэтиленовой изоляции радиочастотных кабелей	258
6.8.	Наложение сплошной изоляции из фторопластов	263
6.9.	Наложение и вулканизация резиновой изоляции	267
<b>Глава седьмая. Эмалирование</b>		286
7.1.	Агрегаты для производства эмалированных проводов	286
7.1.1.	Агрегаты для производства проводов диаметром 0,015—0,09 мм	286
		629

7.1.2. Агрегаты для производства проводов диаметром 0,10—41 мм	301
7.1.3. Агрегаты для производства проводов диаметром 0,30—2,44 мм	305
7.1.4. Агрегаты для производства прямоугольных проводов	313
7.2. Способы и технология эмалирования	314
7.3. Эмалирование из расплава смолы	338
7.4. Совмещение операций волочения и эмалирования при производстве эмалированных проводов	341
<b>Глава восьмая. Нетиповые способы наложения изоляции</b>	<b>344</b>
8.1. Изолирование жил кабелей связи пористой бумажной массой	344
8.2. Изготовление коаксиальных пар с шайбовой изоляцией	357
8.3. Изготовление кабелей с минеральной изоляцией	370
8.4. Способы наложения изоляции обмоткой лентами с последующей тепловой обработкой	371
8.5. Изготовление подразделенных и транспонированных обмоточных проводов	375
<b>Глава девятая. Скрутка изолированных жил в кабель</b>	<b>382</b>
9.1. Скрутка силовых кабелей	382
9.2. Скрутка контрольных многожильных кабелей	387
9.3. Скрутка герметизированных кабелей	394
9.4. Скрутка жил кабелей связи в пары и четверки	395
9.4.1. Скрутка жил кабелей местной связи в пары и четверки	396
9.4.2. Скрутка жил кабелей дальней связи в четверки	399
9.5. Повивная скрутка кабелей связи	403
9.5.1. Скрутка кабелей местной связи	403
9.5.2. Скрутка симметричных кабелей дальней связи	405
9.5.3. Скрутка коаксиальных магистральных кабелей	408
9.6. Пучковая скрутка кабелей связи	410
<b>Глава десятая. Процессы сушки и пропитки кабелей</b>	<b>414</b>
10.1. Сушка и пропитка бумажной изоляции силовых кабелей	414
10.2. Сушильно-пропиточное оборудование. Принцип действия, классификация, устройство	420
10.3. Приготовление пропиточных составов	429
10.4. Сушка и пропитка силовых кабелей с бумажной изоляцией на напряжения 1—35 кВ	431
10.5. Сушка и пропитка маслонаполненных кабелей напряжением 110—500 кВ	432
10.6. Сушка кабелей связи. Особенности применяемого оборудования и технологических режимов	435
<b>Глава одиннадцатая. Наложение металлических оболочек</b>	<b>445</b>
11.1. Способы наложения металлических оболочек	445
11.2. Принцип действия и устройство прессов для наложения свинцовых оболочек	446

11.2.1. Гидравлические прессы	446
11.2.2. Червячные прессы	454
11.3. Технологический процесс наложения свинцовых оболочек	459
11.4. Особенности технологии наложения свинцовых оболочек на масло- и газонаполненные кабели и кабели связи	466
11.5. Сравнение гидравлических и червячных прессов	469
11.6. Принцип действия и устройство прессов для наложения алюминиевых оболочек	471
11.7. Технология прессования алюминиевых оболочек	479
11.8. Сварка алюминиевых и стальных оболочек	485
11.8.1. Дуговая сварка оболочек в среде защитного газа	485
11.8.2. Высокочастотная сварка оболочек	493
11.9. Гофрирование оболочек	501
<b>Глава двенадцатая. Наложение оболочек и шлангов из пластмасс и резины</b>	508
12.1. Наложение полиэтиленовых оболочек и шлангов на экструзионных агрегатах	508
12.2. Наложение поливинилхлоридных оболочек и шлангов на экструзионных агрегатах	512
12.3. Особенности наложения алюмополиэтиленовых оболочек	513
12.4. Особенности конструкций и технологические режимы кабельных линий непрерывной вулканизации для наложения резиновых оболочек	514
<b>Глава тринадцатая. Наложение экранирующих и защитных оплеток</b>	524
13.1. Технологические параметры оплетки	524
13.2. Оплеточные машины	534
13.3. Наложение проволочных экранов и защитных оплеток	543
13.4. Наложение волокнистых защитных оплеток	544
13.5. Пропитка проводов	547
13.6. Лакировка проводов	549
<b>Глава четырнадцатая. Наложение бронепокровов</b>	553
14.1. Бронировочные машины	553
14.2. Технологические параметры наложения ленточных и проволочных бронепокровов	565
14.3. Технология наложения защитных покровов	566
14.4. Наложение профильной (гибкой) брони	569
<b>Глава пятнадцатая. Вспомогательные процессы кабельного производства</b>	570
15.1. Перемотка полуфабриката, заготовки и готовых кабелей и проводов	570
15.2. Резка бумаги и пленок на ленты	572
15.3. Тростка нитей и проволок	574
15.4. Изготовление резиновых смесей	578
15.5. Предварительная пропитка материалов защитных покровов	586
	631

<b>Глава шестнадцатая. Операционный контроль в производстве кабелей и проводов</b>	<b>587</b>
16.1. Общие сведения об организации системы технического контроля производства кабелей и проводов	587
16.2. Операционный контроль	589
16.3. Управление качеством	590
<b>Глава семнадцатая. Основы техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной техники в кабельном производстве</b>	<b>592</b>
17.1. Основы техники безопасности и производственной санитарии	592
17.2. Основы противопожарной техники	600
<b>Глава восемнадцатая. Основы проектирования кабельного производства</b>	<b>602</b>
18.1. Организация кабельного производства — структура завода и цеха	602
18.2. Расчет количества технологического оборудования и производственных рабочих	604
18.3. Планировка цехов и отделений	613
18.4. Определение себестоимости продукции и технико-экономических показателей проектируемого объекта	617
Список литературы	620
Предметный указатель	621

НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ БЕЛОРУССОВ, РАФАИЛ МОИСЕВИЧ  
 ЛАКЕРНИК, ЭЛЕОНОРА ТИМОФЕЕВНА ЛАРИНА, ИЗЯСЛАВ  
 БОРИСОВИЧ ПЕШКОВ, ИГОРЬ БОРИСОВИЧ РЯЗАНОВ,  
 ДАВИД ЛЕОНИДОВИЧ ШАРЛЕ

## ПРОИЗВОДСТВО КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ

Редактор *И. В. Антик*  
 Технический редактор *Н. П. Собакина*  
 Корректор *И. А. Володяева*  
 ИБ № 1558 («Энергия»)

Сдано в набор 22.03.81	Подписано в печать 20.10.81	T-27731
Формат 84×108 <sup>1</sup> / <sub>32</sub>	Бумага типографская № 2	Гарн. шрифта литературная
Печать высокая	Усл. печ. л. 33,18	Уч.-изд. л. 36,82
Тираж 17 000 экз.	Заказ 1201	Цена 1 р. 20 к.

Энергоиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10