

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Вологодский государственный технический университет**

**Кафедра геоэкологии
и инженерной геологии**

УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ

**Методические указания
для выполнения курсового проекта
«Обустройство полигона
твёрдых бытовых отходов»**



Вологда
2013

Управление отходами: методические указания для выполнения курсового проекта «Обустройство полигона твёрдых бытовых отходов» / сост. А.С. Новосёлов. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 48 с.

Рассмотрены материалы по решению вопросов проектирования полигонов для захоронения твёрдых бытовых отходов. Приводятся этапы проектирования и методы расчёта отдельных конструктивных элементов полигона (с примерами расчётов), информация по организации, эксплуатации полигона и сведения по проведению экологического мониторинга. В приложении помещены исходные данные для проектирования и справочные материалы.

Методические указания предназначены студентам очной и заочной форм обучения направления бакалавриата **022000.62 – «Экология и природопользование»** для выполнения курсового проекта «Обустройство полигона твёрдых бытовых отходов», а также будут полезны для дипломного проектирования.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ

Составитель: А.С. Новосёлов, канд. с.-х. наук, доцент

Рецензент: А.В. Белый, канд. геогр. наук, доцент,
зав. кафедрой городского кадастра и геодезии

Подписано в печать 21.12.2012.	Усл. печ. л. 3,0	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ №	_____.

Отпечатано: РИО ВоГТУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15

Введение

Рост численности населения в городах и развитие промышленности тесно связаны с увеличением количества образующихся бытовых и промышленных отходов, которые при неправильном сборе, несвоевременном удалении и неудовлетворительном обезвреживании ухудшают экологическую обстановку и наносят экологический ущерб окружающей среде, вызывая загрязнение атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод. Санитарная очистка городов от отходов производства и потребления служит важным элементом жизнеобеспечения. Известно более 20 методов обезвреживания и утилизации твёрдых бытовых отходов (ТБО). По каждому из них существует от 5 до 10 разновидностей приёмов их обезвреживания и переработки. Наибольшее распространение получили такие методы, как захоронение отходов на свалках и полигонах, термические и биотермические методы обезвреживания.

Выбор оптимального метода и технологии обезвреживания и переработки ТБО базируется, в первую очередь, на недопущении негативного воздействия отходов на окружающую среду, ухудшения здоровья человека, обострения социальных аспектов развития общества, повышении экономической эффективности процессов обезвреживания отходов и рационального использования земельных ресурсов.

Захоронение отходов производства и потребления на свалках и полигонах – это наиболее широко практикуемый способ обезвреживания и утилизации ТБО, но, к сожалению, он порождает массу экологических и санитарно-гигиенических проблем. Несмотря на это захоронение ТБО ещё долгое время будет оставаться наиболее распространённым методом их обезвреживания и утилизации. Поэтому при изучении дисциплины *“Управление отходами”* уделяется большое внимание проектированию полигонов ТБО как инженерно-экологических сооружений в системе природно-техногенного комплекса.

1. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛИГОНА

Создание полигона захоронения ТБО, как и любого объекта строительства, осуществляют в непрерывном инвестиционном процессе с момента возникновения замысла до сдачи объекта в эксплуатацию. Предпроектные и проектные работы проводятся согласно следующей нормативной документации:

«Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений» (СНиП 11-101-95);

«Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» (СНиП 11-01-95).

В инвестиционном процессе проектная подготовка строительства с учётом действующего российского законодательства и зарубежной практики, как правило, состоит из **трёх основных этапов**.

Первый этап – определение цели инвестирования, вид и объёмы приёма отходов на объекте строительства, морфологический состав и свойства отходов, срок эксплуатации, расчётный объём полигона и его требуемая площадь, перспективные участки строительства с учётом экономических и экологических требований. На основе необходимых исследований и проработок об источниках финансирования, условиях и средствах реализации поставленной цели с использованием максимально возможной информационной базы данных заказчиком проводится оценка возможностей инвестирования и достижения технико-экономических показателей.

С учётом принятых на данном этапе решений заказчик представляет, в установленном порядке, ходатайство (декларацию) о своих намерениях. После получения положительного решения местного органа исполнительной власти он приступает к разработке обоснований инвестиций в строительство.

Второй этап – разработка обоснований инвестиций в строительство на основании полученной информации, требований государственных органов и заинтересованных организаций в объёме, достаточном для принятия заказчиком решения о целесообразности дальнейшего инвестирования, получения от соответствующего органа исполнительной власти предварительного согласования места размещения объекта (акта выбора участка) и разрешения на разработку проектной документации.

Третий этап – разработка, согласование, экспертиза и утверждение проектной документации, получение на её основе решения об изъятии земельного участка под строительство.

Выбор участка под строительство полигона. Выбор перспективных участков для строительства полигонов проводят на стадии составления схем районных планировок и генеральных планов городов и их зелёных зон, схем санитарной очистки населённых пунктов от ТБО. Число и площадь полигонов зависит от численности жителей населённых мест, обслуживаемых полигонами, площади и конфигурации населённых пунктов, дальности транспортировки отходов.

Полигоны размещаются за пределами населённых пунктов с соблюдением размера санитарно-защитной зоны, устанавливаемой в соответствии со СанПиН 2.1.7.722-98, не менее 500 м до границы жилой застройки.

Для выбора участка под строительство заказчик с регламентирующими организациями (архитектурно-планировочным управлением, санитарно-эпидемиологической, гидрогеологической службами и др.) определяют районы, в которых намечается подбор участков. Перспективные участки для размещения полигонов определяются на основании анализа карт специального типологического зонирования анализируемых территорий в масштабе М 1:200 000, которые включают фондовые геологические и гидрогеологические условия. При необходимости проводятся рекогносцировочные полевые исследования.

Благоприятными земельными участками, с точки зрения размещения полигонов, считаются:

- ✓ открытые, хорошо продуваемые (проветриваемые), незатопляемые и неподтопляемые, допускающие проведение природоохранных мероприятий и выполнение инженерных решений, обеспечивающих предотвращение загрязнения окружающей среды;
- ✓ расположенные с подветренной стороны относительно нахождения населённых пунктов и рекреационных зон, в соответствии с розой ветров;
- ✓ расположенные ниже мест водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения, рыбоводных хозяйств, мест нереста, массового нагула и зимовальных ям рыбы;
- ✓ удалённые от аэропортов на 15 км и более, от сельскохозяйственных угодий и транзитных магистральных дорог на 200 м, от лесных массивов и лесопосадок, не предназначенных для рекреации, на 50 м;
- ✓ на которых обеспечивается соблюдение 500 м санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границ полигона;
- ✓ с преобладающими уклонами в сторону населённых пунктов, промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий и лесных массивов не более 1,5%;
- ✓ с залеганием грунтовых вод при наибольшем подъёме их уровня не менее одного метра от нижнего уровня складироваемых отходов;
- ✓ с преобладанием в геологическом разрезе четвертичных отложений, экранирующих пород (в том числе маренных суглинков), характеризующихся коэффициентом фильтрации 10^{-7} м/с и менее;
- ✓ с развитым региональным водоупорным горизонтом (юрские глины), характеризующимся отсутствием «гидрогеологических окон» и значительных по площади трещиноватых зон;
- ✓ с отсутствием опасных геологических процессов (оползневых, карстово-суффозионных, овражно-эрозионных и т.д.).

Оценка гидрогеологической обстановки выполняется при проведении полевых исследований. Критерии по такой оценке носят, в основном, рекомендательный характер, и их несоблюдение может быть компенсиро-

вано использованием технологических решений, получивших положительное заключение Государственной экологической экспертизы.

При размещении полигонов также учитывается опыт функционирования объектов-аналогов в подобных условиях размещения, исходя из природных условий (геологических, гидрогеологических, водно-физических свойств горных пород, развития опасных геологических процессов) и технологических особенностей складирования ТБО (площадь полигона, мощность складированных ТБО, схема складирования).

Размер участка размещения полигона устанавливают, исходя из условия продолжительности эксплуатации полигона в течение 15...20 лет. По форме в плане наиболее благоприятны земельные участки, близкие к квадрату, и позволяющие устраивать полигоны с наибольшей высотой складирования отходов. Необходимая площадь для отвода земельного участка определяется исходя из проектной вместимости полигона и проектной высоты складирования отходов.

2. ПРОЕКТ ОБУСТРОЙСТВА ПОЛИГОНА

2.1. Расчёт необходимой площади отвода участка земли для строительства полигона

Для обоснования требуемой площади для отвода земельного участка под складирование ТБО, в первую очередь, необходимо определить проектируемую вместимость полигона.

Расчёт проводится с учётом удельной обобщённой годовой нормы накопления ТБО на одного жителя, (включая ТБО из учреждений и организаций), количества обслуживаемого полигоном населения, расчётного срока эксплуатации полигона и степени уплотнения ТБО на полигоне.

Требуемая для отвода площадь участка складирования ТБО, определяется отношением проектируемой вместимости полигона (m^3) на принимаемую в проекте высоту полигона (в метрах).

2.1.1. Организация сбора отходов

В соответствии с исходными данными на проектирование полигона для захоронения ТБО предполагается организация сбора образующихся отходов в четырёх населённых пунктах. Участок, предназначенный для размещения полигона, расположен от самого дальнего пункта (пункт №3) на расстоянии 22,5 км и от самого близкого – на расстоянии 11,2 км (оформляется «Ситуационный план...» (прил. 1)). Сбор ТБО в населённых

пунктах предполагается вести в устанавливаемые мусоросборные ёмкости (бункеры), вместимостью до 0,75 м³.

Транспортирование ТБО от мест их накопления до полигона предполагается мусоровозами КО-415А с объёмом кузова до 23 м³. Расчёт общей численности населения обслуживаемого полигоном выполняется в форме таблицы 2.1 (прил. 2).

Таблица 2.1

Определение численности населения, обслуживаемого полигоном

Номер населённых пунктов	Численность населения, тыс. чел
2	N ₂ =80
3	N ₃ =25
4	N ₄ =30
5	N ₅ =35
ΣN = 170	

2.1.2. Расчёт годовой нормы накопления твёрдых бытовых отходов в населённом пункте

Расчёт накопления ТБО за один год проводится в соответствии с удельными нормами их накопления на одного жителя. Их рассчитывают от двух источников образования: жилого сектора и общественных зданий, учреждений. В городах ТБО имеют неодинаковые плотность и морфологический состав, поэтому удельное накопление ТБО учитывают как по массе, так и по объёму.

Нормы накопления ТБО для различных источников определяют специальными научными организациями (не реже 1 раза в 5 лет). Результаты исследований утверждают администрации населённых пунктов.

Для проектирования данные по нормам накопления ТБО для заданных населённых пунктов приведены в таблице 2.2 (гр. 4). В этой же таблице проводится расчёт определения объёмов накопления ТБО (гр. 5).

Таким образом, суммарный объём накопления ТБО (ΣV) составляет 61214000 кг/год.

$$\text{Суточная величина накопления ТБО (} P_{\text{сут}} \text{) составит: } P_{\text{сут}} = \frac{\sum P}{\sum T_{\text{год}}},$$

где T_{год} – количество дней в году (365).

$$P_{\text{сут}} = \frac{61214000}{365} = 167709,5 \text{ кг/сут} = 167,7 \text{ т/сут.}$$

Определение объёма накопления ТБО

Объект образования отходов	Расчётная единица	Норма накопления ТБО, кг/год	Количество единиц	Всего, кг/год (гр.3)×(гр.4)
Жилые дома благоустроенного типа	1 чел	200	$0,6 \times \Sigma H^*$	20400000
Жилые дома неблагоустроенного типа	1 чел	400	$0,4 \times \Sigma H^*$	27200000
Гостиницы	1 место	120	$0,07 \times \Sigma H^*$	1428000
Детсады, ясли	1 место	95	$0,05 \times \Sigma H^*$	810000
Учебные заведения	1 ученик	24	$0,03 \times \Sigma H^*$	120000
Театры, кинотеатры	1 место	30	1000 мест	30000
Учреждения, офисы	1 сотр.	40	$0,3 \times \Sigma H^*$	2040000
Продовольственные магазины	1 кв. м	200	5000	1000000
Промтоварные магазины	1 кв. м	100	5000	500000
Рынок	1 кв. м	100	10000	1000000
Автовокзалы	1 кв. м	125	800	100000
Больница	1 койка	230	$0,05 \times \Sigma H^*$	1996000
Поликлиники	1 посещ.	30	$0,9 \times \Sigma H^*$	4590000
Всего:			$\Sigma V = 61214000$	

Примечание: * – ΣH см. в таблице 2.1.

Удельную норму накопления ТБО по массе (Y) определяют по формуле: $Y = \frac{\sum P}{\sum H} \cdot Y = \frac{61214000}{170000} = 360,0$ кг/чел×год. При плотности отходов $\gamma = 210$ кг/м³, удельная норма накопления по объёму (Y^*) составит:

$$Y^* = \frac{Y}{\gamma} = \frac{360,0}{210} = 1,7 \text{ м}^3/\text{чел} \times \text{год}.$$

2.1.3. Определение проектной вместимости полигона

Проектную вместимость полигона (E_m) определяют на расчётный период эксплуатации полигона

$$E_m = \frac{(Y^* + Y^{**}) \times (H^* + H^{**}) \times T \times (\kappa_2 / \kappa_1)}{4},$$

где T – принимаемый срок эксплуатации полигона («Справочные данные», прил. 4), $T = 20$ лет;

- Y^* – удельная норма накопления ТБО по объёму на первый год эксплуатации полигона определяется как удельная обобщённая годовая норма накопления ТБО на одного жителя, (включая ТБО из учреждений и организаций);
- Y^{**} – удельная норма накопления ТБО по объёму на последний год эксплуатации полигона, определяется из условия ежегодного прироста её по объёму на 3%;
- N^* и N^{**} – соответственно, количество обслуживаемого полигоном населения на первый и последний годы эксплуатации полигона (чел.);
- k_1 – коэффициент, учитывающий уплотнение ТБО в процессе эксплуатации полигона за срок T (табл. 2.3);
- k_2 – коэффициент, учитывающий объём изолирующих слоёв грунта (промежуточных и окончательного), $k_2 = 1,2$.

$$Y^{**} = Y^* \times (1,03)^{T-1} = 1,7 \times (1,03)^{19} = 3,1 \text{ м}^3/\text{чел} \times \text{год};$$

Количество обслуживаемого полигоном населения на первый год (N^*) определяется согласно исходным данным в таблице 2.1, (раздел 2.1.1.), как $N^* = \sum N$. Количество обслуживаемого полигоном населения на последний год эксплуатации полигона (N^{**}) определяется согласно генеральному плану развития района застройки. Исходя из этого, ожидается ежегодный рост населения на 2%, тогда:

$$N^{**} = N \times (1,02)^{T-1} = 170000 \times (1,02)^{19} = 252600 \text{ чел.}$$

Проектная высота полигона определяется по графику «Зависимость высоты полигона от численности обслуживающего населения» (прил. 2), на последний год его эксплуатации. Так, при численности населения 252600 чел. высота полигона составит $H_{пл} = 22,0$ м. Согласно табл. 2.3 при $H_{пл} = 22,0$ м $\rightarrow k_1 = 4$;

Таблица 2.3

**Зависимость коэффициента уплотнения ТБО (k_1)
от высоты полигона ($H_{пл}$)**

Полная проектная высота полигона ($H_{пл}$), м	k_1
до 10	3
от 11 до 20	3,7
от 21 до 50	4
от 51 и более	4,5

Тогда проектная вместимость полигона E_m составит:

$$E_m = \frac{(1,7 + 3,1) \times (170000 + 252600) \times 20 \times 1,2}{4 \times 4} = 3000000 \text{ м}^3.$$

2.1.4. Расчёт требуемой площади земельного участка для размещения полигона. Схема полигона

Элементами полигона служат подъездная дорога, участок складирования ТБО и административно-хозяйственная зона.

Подъездная дорога соединяет существующую транспортную магистраль с полигоном и рассчитывается на двухстороннее движение, шириной не менее 6,5 м. На пересечении дороги с участком полигона размещают пост контроля въезда и выезда мусоровозов и административно-хозяйственную зону.

Участок складирования – основное сооружение полигона. Он занимает около 85-95% площади полигона ТБО и, как правило, разбивается на очереди эксплуатации с учётом обеспечения производства работ по приёму ТБО в течение 3...5 лет на каждой очереди.

Участки складирования должны быть защищены от вышерасположенных земельных массивов. Для перехвата ливневых и паводковых вод по верхней границе участка проектируются нагорные каналы. На расстоянии от одного до двух метров от нагорных каналов по периметру полигона размещается ограждение. На расстоянии двух метров от них размещаются посадки деревьев. На расстоянии 2...3 м от внешнего откоса котлована устраивают кольцевую дорогу с односторонним движением, шириной не менее 3,5 м.

Между кольцевой дорогой и лесопосадками устраиваются кавальеры с плодородным и минеральным грунтом, которые в процессе эксплуатации полигона нужны для изоляции отходов.

Горизонтальная планировка (рис. 2.1) выполняется на отдельном листе А4 с использованием топографического плана (*прил. 3*) Требуемая площадь полигона (Φ) определяется по формуле:

$$\Phi = k_3 \times \Phi_{\text{ус}} + \Phi_{\text{доп}},$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий полосу вокруг участка складирования ($k_3 = 1,1$);

$\Phi_{\text{ус}}$ – площадь участка складирования, га;

$\Phi_{\text{доп}}$ – площадь участка административно-хозяйственной зоны, га.

Площадь участка складирования находят из формулы определения объёма пирамиды (рис. 2.2):

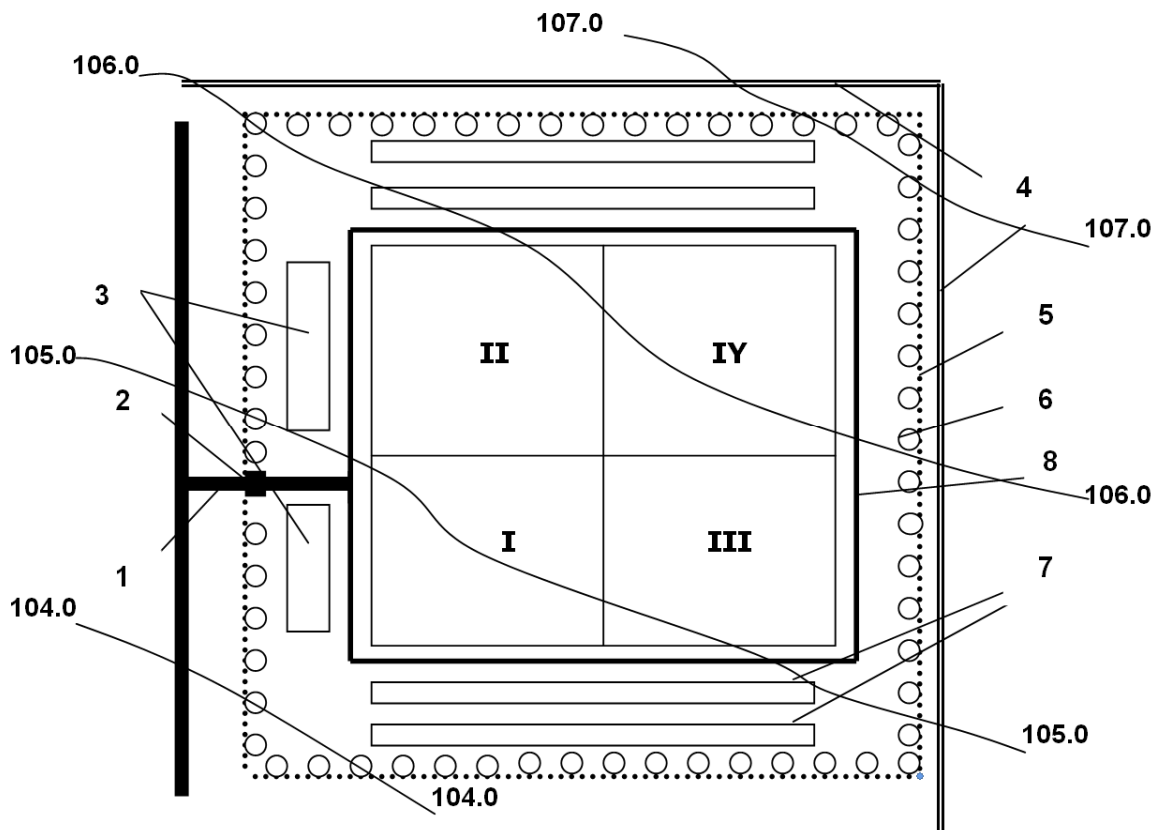


Рис. 2.1. Горизонтальная планировка полигона:

(I- IV) – очереди эксплуатации полигона.

1 – подъездная дорога; *2* – въезд на полигон с пунктом радиометрического контроля; *3* – административно-хозяйственная зона; *4* – нагорный канал; *5* – ограждение полигона; *6* – лесополоса; *7* – кавальеры минерального и плодородного грунта; *8* – внутрихозяйственная дорога

$$\Phi_{yc} = \frac{3E_m}{H_{пл} + \Delta h} = (3k_4 \times E_m) / H_{пл},$$

где k_4 – коэффициент, учитывающий снижение высоты пирамиды до заданной $H_{пл}$ (рис. 2.2); $k_4 = 0,5$.

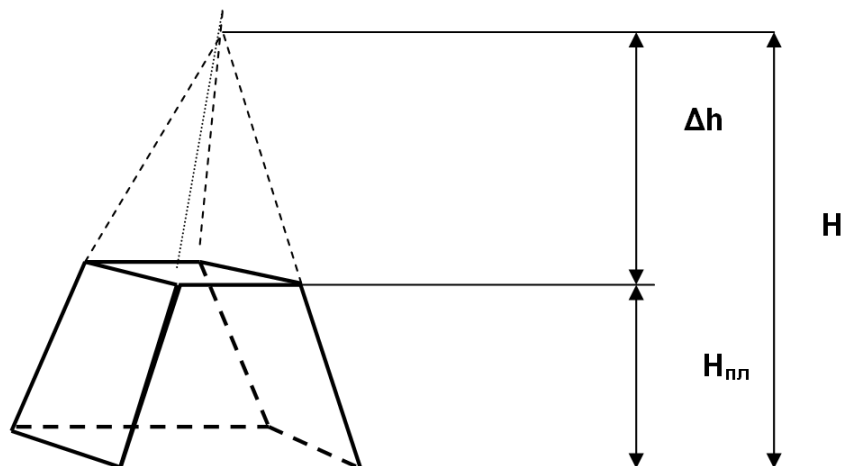


Рис. 2.2. Расчётная схема для определения размеров полигона ТБО

Тогда $\Phi_{yc} = (0,5 \times 3 \times 3000000) / 22 = 204545,5 \text{ м}^2 = 20,5 \text{ га}$.

Принимая размер участка административно-хозяйственной зоны $\Phi_{доп} = 0,1 \times \Phi_{yc}$, получим требуемую площадь полигона:

$$\Phi = 1,1 \times 20,5 + 0,1 \times 20,5 = 24,6 \text{ га}.$$

Размещается полигон на практически плоском рельефе. Фактически отведённая площадь участка ($\Phi_{отв}$) составит:

$\Phi_{отв} = \Phi + Д$, где $Д$ – отвод территории для размещения подъездной дороги от автомагистрали до полигона (дороги длиной $L_{дор} = 4000 \text{ м}$ и шириной $B_{дор} = 6,5 \text{ м}$).

$$\text{Тогда } Д = (L_{дор} \times B_{дор}) = (4000 \times 6,5) = 26000 \text{ м}^2 = 2,6 \text{ га};$$

$$\Phi_{отв} = 24,6 + 2,6 = 27,2 \text{ га}.$$

2.2. Проектирование участка складирования

2.2.1. Расчёт вместимости полигона

Согласно исходным данным, грунт в основании полигона представлен лёгким суглинком. Грунтовые воды расположены на глубине 4,8 м.

Принимаем решение – полностью удовлетворить потребность в грунте для промежуточной и окончательной изоляции за счёт сооружения котлована в основании полигона.

Реальный участок складирования ТБО, площадью $\Phi_{yc} = 204545,5 \text{ м}^2$ в плане, имеет форму квадрата, со сторонами (L_{yc}, B_{yc}):

$L_{yc} = B_{yc} = \sqrt{\Phi_{yc}} = \sqrt{204545,5} = 452 \text{ м}$, где – соответственно, длина и ширина участка складирования, м (рис. 2.3).

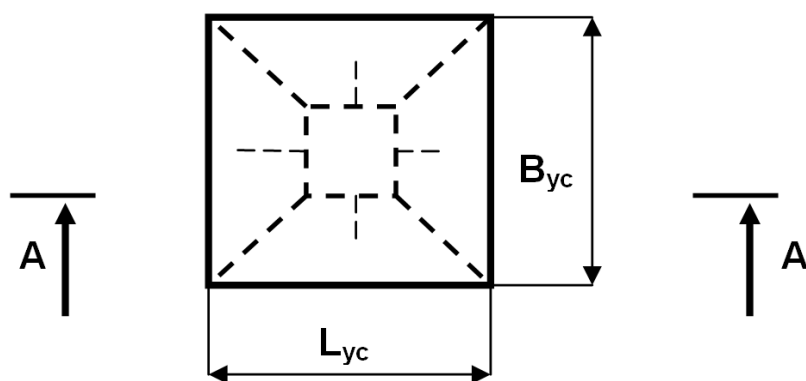


Рис. 2.3. Участок складирования ТБО в плане

После заполнения полигона отходами до проектных отметок, участок складирования будет иметь форму усечённой пирамиды, а в поперечном сечении – трапеции (рис. 2.4).

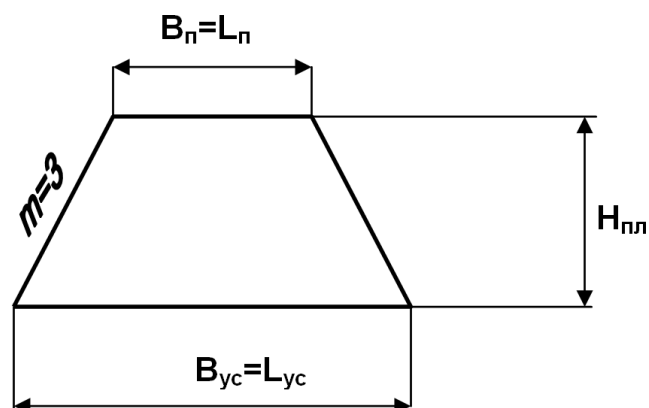


Рис. 2.4. Поперечное сечение участка складирования (без котлована) – разрез А–А

Устанавливаются размеры верхней площадки (B_n) полигона захоронения отходов (рис. 2.4):

$B_n = L_n = B_{yc} - (2 \times m \times H_{пл}) = 452 - (2 \times 3 \times 22) = 320$ м, где B_n и L_n – соответственно, ширина и длина верхней площадки участка складирования, м.

Тогда площадь верхней площадки участка складирования (Φ_n) будет равна: $\Phi_n = B_n^2 = 320^2 = 102400 \text{ м}^2 = 10,2$ га.

Максимально допустимая высота полигона ($H_{пл}^{max}$) определяется из условия заложения внешних откосов не менее чем $m = 3$ и необходимости создания верхней площадки с размером, обеспечивающем безаварийную работу мусоровозов и бульдозера (рис. 2.5).

Минимальная ширина верхней площадки определяется возможностью разворота мусоровоза ($R_{раз}$) и соблюдением условия его движения не ближе 10 метров (ϕ) от края откоса.

Тогда минимальная ширина участка складирования (B_n^{min}) будет следующей $B_n^{min} = 2 \times R_{раз} + 2 \times \phi$, а её минимальная площадь (Φ_n^{min}) равной: $\Phi_n^{min} = (B_n^{min})^2 = (2 \times R_{раз} + 2 \times \phi)^2 = (2 \times 9 + 2 \times 10)^2 = 1444 \text{ м}^2 = 0,14$ га, что значительно меньше принятой в проекте $\Phi_n = 10,2$ га.

Максимально возможная высота полигона ($H_{пл}^{max}$) определяется по формуле: $H_{пл}^{max} = \frac{B_{yc} - B_n^{min}}{2 \times m}$, где B_{yc} – ширина участка складирования (м).

$$H_{пл}^{max} = \frac{452 - 38}{2 \times 3} = 69 \text{ м.}$$

С целью получения грунта для послойной и окончательной изоляции ТБО, укладываемых в тело полигона, в его основании проектируется котлован. Средняя его глубина рассчитывается из условия баланса земляных работ с учётом положения уровня грунтовых вод. Дно котлована размещают выше уровня грунтовых вод не менее чем на два метра.

Участок складирования разбивается на очереди эксплуатации с учётом приёма ТБО на каждой очереди в течение трёх (пяти) лет. Фактиче-

ская вместимость полигона (E_ϕ) с учётом уплотнения ТБО рассчитывается по формуле для определения объёма усеченной пирамиды:

$$E_\phi = \frac{H_{nl}}{3} \times [\Phi_{yc} + \Phi_n + (\Phi_{yc} + \Phi_n)^{0,5}], \text{ где } \Phi_{yc} \text{ и } \Phi_n - \text{площади ниж-$$

него и верхнего оснований свалочного тела, м^2 .

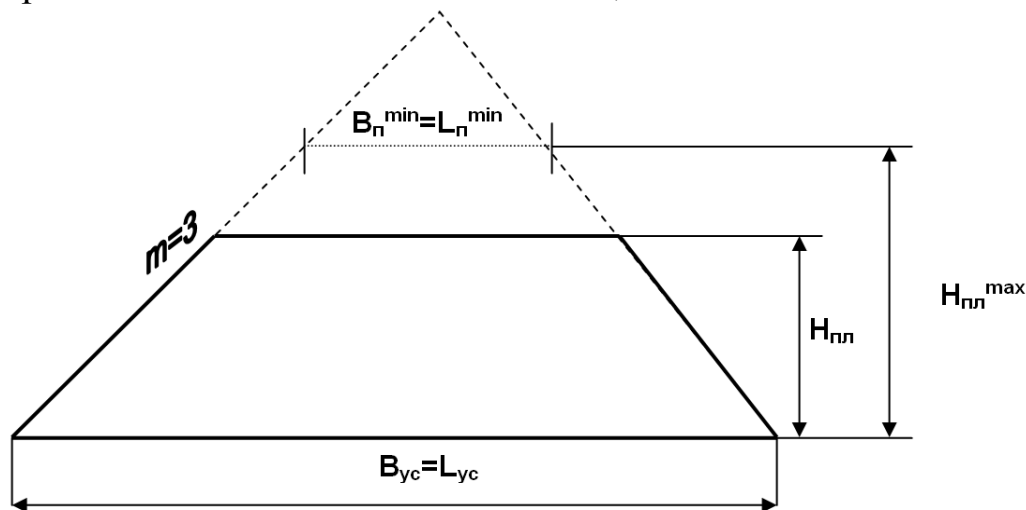


Рис. 2.5. Схема для определения максимально возможной высоты полигона

Вместимость котлована в основании полигона не учитывается, так как грунт, вынимаемый из него, расходуется на изоляцию ТБО. В этом случае фактическая вместимость будет равна объёму ТБО в уплотнённом состоянии, которая составит:

$$E_\phi = \frac{22}{3} \times [204545 + 102400 + (204545 + 102400)^{0,5}] = 3297193 \text{ м}^3.$$

Потребность в минеральном грунте (V_z) определяется по формуле:

$$V_r = E_\phi \times \left(1 - \frac{1}{K_2}\right), \text{ где } K_2 = 1,2.$$

Для изоляции 3297193 м^3 ТБО после их уплотнения потребуется грунт в объёме:

$$V_r = 3297193 \times \left(1 - \frac{1}{1,2}\right) = 527550,88 \text{ м}^3.$$

В рассматриваемом случае весь грунт, вынимаемый из котлована, расходуется на изоляцию ТБО, поэтому потребность в изолирующем материале равна вместимости котлована.

Средняя проектная глубина котлована в основании полигона (H_k) определяется по формуле:

$$H_k = \frac{1,1 \times V_z}{\Phi_{yc}}, \text{ где } 1,1 - \text{коэффициент, учитывающий откосы и карто-}$$

вую схему заполнения котлована,

$$H_k = \frac{1,1 \times 527550,88}{204545} = 2,58 \text{ м. Принимаем } H_k = 2,6 \text{ м.}$$

Проверяем условие размещения полигона:

$$H_{угв} - H_k - H_{эк} \geq 2 \text{ м,}$$

где $H_{угв}$ – глубина залегания грунтовых вод, $H_{угв} = 4,8$ м;

$H_{эк}$ – толщина защитного экрана основания полигона
(п. 2.4.3, рис. 2.8).

Тогда $4,8 - 2,6 - 1 = 3,2 \text{ м} > 2 \text{ м}$, – принятая глубина котлована удовлетворяет требуемым условиям.

Полигон ТБО разбивается на пять очередей эксплуатации (рис. 2.6). При этом, сам котлован для складирования ТБО будет разбит на четыре части. Откосы котлована из условий работы бульдозера принимают с коэффициентом заложения (m) не менее 2,5.

Каждую очередь эксплуатации полигона рассчитывают из условия обеспечения приёма ТБО в течение времени $T_{оч} = \frac{T}{5} = \frac{20}{5} = 4$ года.

Площадь участка складирования каждой из четырёх очередей ($\Phi_{оч}$) эксплуатации в пределах первого яруса составит $\Phi_{оч} = \frac{\Phi_{ус}}{4} = \frac{204545}{4} = 51136 \text{ м}^2$. Объём отходов, складироваемых в каждой очереди эксплуатации полигона ($V_{оч}$), составит $V_{оч} = \frac{E_{\phi}}{5} = \frac{3297193}{5} = 659439 \text{ м}^3$. Высота первого яруса (с I по IV очереди ($H_{оч(I-IV)}$)) определяется по зависимости:

$$H_{оч(I-IV)} = \frac{1,1 \times V_{оч(I-IV)}}{\Phi_{ус}} = \frac{1,1 \times (659439 \times 4)}{204545} = 14,2 \text{ м, где } 1,1 \text{ – коэффициент, учитывающий откосы и карттовую схему заполнения котлована.}$$

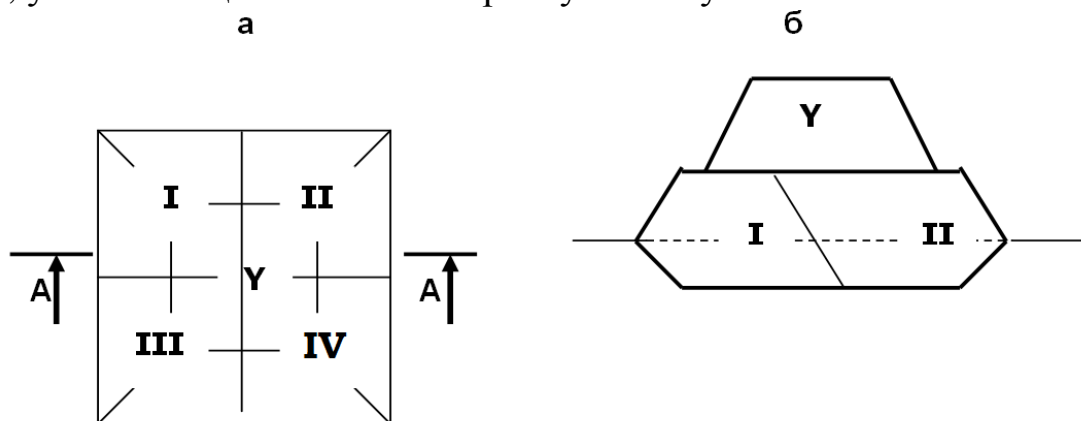


Рис. 2.6. План и разрез высоконагруженного полигона захоронения:
а – план полигона; б – разрез А–А; (I...V) – очереди строительства
и эксплуатации полигона

Учитывая послойное заполнение полигона отходами (1,8...2,0 м – отходы и 0,2 м – минеральный грунт), количество укладываемых слоёв с I по IV очереди 1 яруса ($n_{cl(I-IV)}$) составит $n_{cl(I-IV)} = \frac{H_{оч(I-IV)}}{h_c} = \frac{14,2}{2,0} \approx 7$ слоёв.

Принимаем – по 7 слоёв укладки ТБО в каждую очередь 1 яруса. Тогда высота 1 яруса над уровнем поверхности земли (H^I) составит:

$$H^I = 2,0 \times 7 = 14 \text{ м.}$$

Объём котлована одной очереди ($V_z^{оч}$) составит $V_r^{оч} = \frac{V_z}{4} = \frac{527550}{4} = 131887,5 \text{ м}^3$. Нарращивание высоты полигона 2 яруса с отметки 14 м до проектной (22 м) будет проводиться заполнением V очереди полигона.

После заполнения 2 яруса будет выполнено окончательное его перекрытие. Количество слоёв V очереди полигона (n_{clV}) составит:

$$n_{clV} = \frac{H_n - H^I}{h_c} = \frac{22 - 14}{2} \approx 6 \text{ слоёв.}$$

Тогда общее количество слоёв ТБО, укладываемых в тело полигона (N), будет равно: $N = n_{clI-IV} + n_{clV} = 7 + 6 = 13$ слоёв.

Перед проведением работ снимают плодородный слой почвы со всей площади участка складирования ТБО, который отсыпают во временные кавальеры, размещаемые в стороне от участка складирования. Впоследствии этот грунт используют для рекультивации полигона.

Грунт, вынимаемый из котлована I очереди, складировуют во внешний кавальер для последующего использования при устройстве промежуточной изоляции при заполнении IV и V очередей формирования полигона.

2.2.2. Проектирование кавальеров для складирования плодородного и минерального грунтов

а) Определение параметров кавальеров плодородного грунта

Плодородный слой снимают со всей площади участка складирования.

Объём растительного грунта (V_p) определяется по формуле:

$$V_p = \Phi_{yc} \times h_p \times k_p = 204545 \times 0,25 \times 1,23 = 62823 \text{ м}^3,$$

где h_p – толщина плодородного слоя, м ($h_p = 0,25$ м; «Справочные данные», прил. 4);

k_p – коэффициент разрыхления, $k_p = 1,22 \dots 1,24$, (принимается по ЕниР).

Длина кавальера ($L_{кв}^p$) исчисляется следующим образом:

$$L_{кв}^p = 2 \times L_{yc} = 2 \times 452 = 904 \text{ м (рис. 2.7).}$$

Площадь поперечного сечения кавальеров растительного грунта ($L_{кв}^p$) составит:

$$F_{кв}^p = V_p / L_{кв}^p = 62823 / 904 = 69,5 \text{ м}^2.$$

Принимаем поперечное сечение кавальера в виде трапеции высотой ($H_{\text{кв}}^{\text{п}}$) до 4 м и коэффициент заложения откосов (m), равный 3 (рис. 2.7). Ширину кавальера по низу ($B_{\text{кв}}^{\text{п}}$) определяют, используя формулу трапеции $F_{\text{кв}}^{\text{п}} = (B_{\text{кв}}^{\text{п}} + B_{\text{кв}}) / 2 \times H_{\text{кв}}$, где $F_{\text{кв}}^{\text{п}}$ – площадь кавальера растительного грунта, м^2 ; $H_{\text{кв}} = 3$ м; $B_{\text{кв}}^{\text{п}}$ – ширина кавальера по верху $B_{\text{кв}}^{\text{п}} = B_{\text{кв}} - 2 \times m \times H_{\text{кв}}$, м.

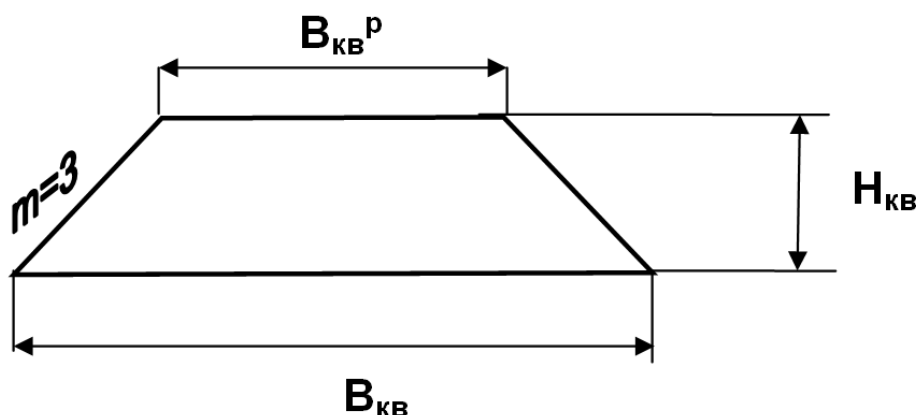


Рис. 2.7. Поперечное сечение кавальеров плодородного и минерального грунтов

Из условия баланса грунтовых масс $2F_{\text{кв}}^{\text{п}} = (B_{\text{кв}}^{\text{п}} + B_{\text{кв}} - 2m \times H_{\text{кв}}) \times H_{\text{кв}}$, определяется ширина нижнего основания кавальера плодородного грунта:

$$B_{\text{кв}} = [(F_{\text{кв}}^{\text{п}} + m \times (H_{\text{кв}})^2) / H_{\text{кв}}] = (69,5 + 3 \times 3^2) / 4 = 24,1 \text{ м.}$$

Далее рассчитывается ширина верхнего основания кавальера:

$$B_{\text{кв}}^{\text{п}} = B_{\text{кв}} - (2 \times m \times H_{\text{кв}}^{\text{п}}) = 24,1 - (2 \times 3 \times 3) = 6,1 \text{ м.}$$

Размеры кавальеров плодородного грунта позволяют их разместить с двух сторон участка складирования ТБО.

б) Определение параметров кавальеров минерального грунта

Грунт из котлована I очереди используют для изоляции ТБО, укладываемых в период эксплуатации IV и V очередей заполнения полигона. Для этих же целей складировуют избыточный минеральный грунт из котлованов II, III и IV очередей строительства.

Объём минерального грунта, добываемого в котловане I очереди строительства полигона ($v_{\text{г}}^{\text{оч}}$) составит: $v_{\text{г}}^{\text{оч}} = \frac{V_{\text{г}}}{4} = \frac{527550}{4} = 131887,5 \text{ м}^3$.

Объём грунта, укладываемого во временные кавальеры с учётом его разрыхления ($V^{\text{мин}} 1^{\text{оч}}$), составит – $V^{\text{мин}} 1^{\text{оч}} = v_{\text{г}}^{\text{оч}} \times k_{\text{р}} = 131887,5 \times 1,23 = 162221 \text{ м}^3$. Тогда длина кавальеров минерального грунта ($L^{\text{мин}}_{\text{кв}}$) будет равной:

$$L^{\text{мин}}_{\text{кв}} = L_{\text{yc}} / 2 + B_{\text{yc}} / 2 = 452 / 2 + 452 / 2 = 226 + 226 = 452 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения кавальера минерального грунта ($F_{\text{кв}}^{\text{мин}}$): $V_{\text{оч}}^{\text{мин}} / L_{\text{кв}}^{\text{мин}} = 162221 / 452 = 358,9 \text{ м}^2$

Принимаем поперечное сечение кавальера в виде трапеции, высотой $H_{\text{кв}}^{\text{мин}} = 4 \text{ м}$, с заложением откосов $m = 3$ (рис. 2.7).

Параметры кавальера для минерального грунта определяют по тем же зависимостям, что и для кавальера для плодородного.

$$B_{\text{кв}}^{\text{мин}} = ((F_{\text{кв}}^{\text{мин}} - m \times (H_{\text{кв}}^{\text{мин}})^2) / H_{\text{кв}}^{\text{мин}}) = (358,9 - 3 \times 4^2) / 4 = 77,8 \text{ м},$$

$$b_{\text{кв}}^{\text{мин}} = B_{\text{кв}}^{\text{мин}} - (2 \times m \times H_{\text{кв}}^{\text{мин}}) = 77,8 - (2 \times 3 \times 4) = 53,8 \text{ м}.$$

Таким образом, необходимо разместить два кавальера минимального грунта длиной по 226 м с двух сторон участка складирования ТБО I очереди эксплуатации полигона (рис. 2.6).

2.3. Прогноз техногенного влияния полигона на компоненты природной среды

Места захоронения ТБО служат источником распространения загрязняющих веществ в компоненты природной среды, оказывая вредное воздействие на них в течение длительного периода времени. С существованием опасности бесконтрольного загрязнения окружающей среды связано понятие экологического риска.

Основные мероприятия по минимизации экологического риска и предотвращению необратимых последствий для окружающей среды основаны на следующих принципах: **1)** правильного выбора места для размещения полигонов; **2)** создания технологического и технического оформления полигонов, предотвращающих проникновение загрязняющих веществ в компоненты окружающей среды (элементов искусственной защиты); **3)** проведения контроля качества складироваемых отходов и мониторинга за окружающей средой.

Возможный ущерб, наносимый окружающей среде от функционирования полигонов ТБО, обусловлен образованием фильтрата и биогаза в толще свалочного тела. Фильтрат, проникая в породы зоны аэрации и грунтовые воды, загрязняет их. Стекающие поверхностные воды с полигона на рельеф местности загрязняют почвы. С поверхностным и грунтовым стоком фильтрат поступает в водные объекты. В результате биохимических процессов в свалочных грунтах образуется биогаз, который при выходе на поверхность, проникает в атмосферный воздух, что нередко приводит к возгоранию отходов на свалках и полигонах. Пожары на них способствуют дополнительному отравлению атмосферного воздуха.

Для исключения возможного загрязнения горных пород зоны аэрации и подземных вод практикуются **два подхода**:

- недопущение попадания излишнего количества влаги в тело полигона;
- защита грунтовых вод посредством правильного гидрогеологического обоснования выбора места для размещения полигона, устройство водонепроницаемого основания полигона, сбор и очистка удаляемых дренажных вод.

Под **первым подходом** имеется в виду:

- ✓ перехват поверхностного стока со стороны водосбора с помощью строительства нагорных каналов;
- ✓ понижение грунтовых вод с применением ловчих каналов;
- ✓ перекрытие заполненных участков или очередей полигона водонепроницаемым слоем.

Второй подход включает создание нужных условий для исключения проникновения дренажных вод (фильтрата) в грунтовые воды и подразумевает:

- ✓ создание противofильтрационного экрана в основании полигона;
- ✓ устройство дренажной системы для отвода фильтра из толщи свалочного тела;
- ✓ создание системы очистки фильтрата на локальных или вывоз его на централизованные очистные сооружения.

Газ, образующийся в толще свалочного тела при складировании ТБО на полигонах, в своём составе содержит множество загрязнений. На 98% он состоит из метана и диоксида углерода. Биогаз обладает выраженным токсичным действием и неприятным раздражающим запахом.

Для минимизации отрицательного воздействия его на окружающую среду и на здоровье человека проводится дегазация свалочного тела полигона. Чаще дегазацию осуществляют методом откачки биогаза через систему горизонтально проложенных перфорированных труб в теле полигона, соединённых с вертикальными колодцами (коллекторами). Газ, собранный системой таких колодцев, сжигают через факел.

На полигонах из-за саморазогрева мусорной массы в результате процессов биохимического разложения органического вещества стихийно возникают пожары, причём горят как сам мусор, так и выделяющийся из отходов полигона биогаз. Для тушения пожаров на полигонах используются огнетушители и другие предусмотренные нормативами средства противопожарной безопасности.

Для предотвращения выноса лёгких фракций складированного мусора (бумага, полимерная плёнка и др.) за пределы участка складирования его территория огораживается защитной сеткой из тонкой проволоки. Раз в неделю работники полигона должны собирать мусор, вынесенный сильными порывами ветра через заграждение.

Для борьбы с крысами на территории полигона устанавливаются «кормушки» в виде отрезка трубы, в которые закладывается приманка, отравленная ядом замедленного действия. Отравляющий эффект воздействует на крыс в течение нескольких суток с целью исключения возможности передачи информации отравившимися особями другим, чем именно они отравились. В результате такой операции наблюдается практически полное истребление крыс на территории полигонов.

Для предотвращения размножения болезнетворных микробов и простейших микроорганизмов в массе захороненных отходов на полигоне запрещается проводить захоронение больничных, ветеринарных и биологических отходов – для них предусматриваются термические методы их обезвреживания.

2.4. Защитные экраны полигонов

2.4.1. Общие положения

Защита горных пород зоны аэрации, подземных и поверхностных вод от загрязнения в период эксплуатации полигона достигается благодаря наличию естественного геохимического барьера или искусственно создаваемому защитному экрану, устраиваемому в основании полигона с дренажной системой сбора и удаления фильтрата, а также системы выполнения послойной изоляции ТБО связным грунтом. После окончания эксплуатации полигона и его закрытия, охрану горных пород зоны аэрации, грунтовых и поверхностных вод, атмосферного воздуха осуществляют устройством верхнего перекрытия (защитного экрана поверхности полигона) в сочетании с защитным экраном и системой сбора и удаления фильтрата в основании полигона.

Защитные экраны основания и поверхности полигона – это конструктивные элементы, обеспечивающие природоохранные функции.

Срок службы защитных экранов определяется как *периодом эксплуатации полигона* (заполнение полигона до проектной вместимости полигона), что составляет 15...30 лет, так и *пассивным периодом*, когда полигон закрыт и не принимает отходы. Но в теле полигона после его закрытия и рекультивации активно протекают аэробные и анаэробные процессы разложения органического вещества, сопровождающиеся образованием биогаза и фильтрата, и, следовательно, веществ, представляющих угрозу окружающей среде. Длительность этого периода определяется морфологическим составом отходов, климатическими условиями и другими факторами, и, по различным оценкам, этот период колеблется от 30 до 100 лет. Таким образом, срок службы защитных экранов полигонов ТБО должен составлять от 45 до 100 лет.

Элементы защитных экранов основания и поверхности полигона находятся в тесном контакте с агрессивной средой – фильтратом и биогазом. Поэтому при подборе материалов для выполнения этих конструкций следует оценивать их устойчивость к агрессивным средам. Для устройства защитных экранов применяются сертифицированные материалы.

Противофильтрационный экран в основании полигона совместно с защитным экраном, устраиваемым при перекрытии верха полигона после окончания его эксплуатации, образуют замкнутую систему типа «саркофаг». В роли противофильтрационного экрана могут выступать природные (естественные) геохимические барьеры и искусственные барьеры, выполняемые в виде глиняного замка или экрана, состоящих из геосинтетических материалов.

2.4.2. Природные геохимические барьеры

Природными геохимическими барьерами называют естественное грунтовое основание, которое обладает достаточными противофильтрационными свойствами, мощность слоя которого обеспечивает нераспространение загрязняющих веществ в горные породы зоны аэрации и грунтовые воды. Подобными свойствами обладают глины с коэффициентом фильтрации $k_f < 10^{-7}$ м/с. Минимальная мощность природного геохимического барьера должна быть не менее 1...3 метров. В случае отсутствия подобных пород в основании проектируемого полигона, устраивают глиняный замок или противофильтрационный экран.

2.4.3. Противофильтрационные экраны в основании полигона, выполняемые в виде глиняного замка

Основное ***функциональное назначение противофильтрационной защиты основания полигона*** – создание искусственного барьера, препятствующего проникновению фильтрата в породы зоны аэрации и грунтовые воды. В целях обеспечения экологической безопасности барьер должен включать противофильтрационные и дренажные элементы, позволяющие собрать и отвести фильтрат. На рис. 2.8 приведена конструкция глиняного замка, устраиваемого в основании полигона.

Для устройства глиняного замка используются глины с коэффициентом фильтрации $K_f \leq 1 \times 10^{-9}$ м/с при градиенте напора $I = 30$.

Глиняный замок (экран) должен быть построен с уклоном, обеспечивающим отвод фильтрата в систему дрена, расположенных по верху глиняного экрана. Коэффициент фильтрации определяется на основе лабораторных испытаний проб, взятых непосредственно из конструкции защитного экрана.

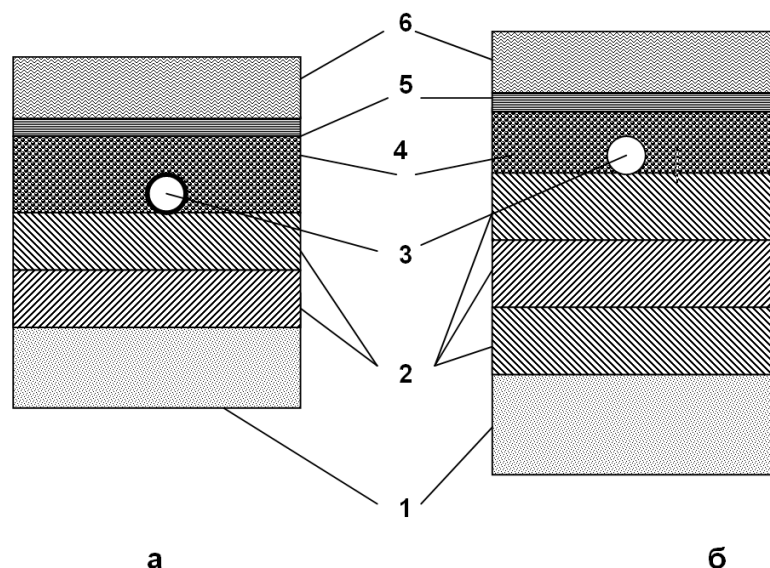


Рис. 2.8. Конструкция глиняных замков первого (а) и второго (б) классов, устраиваемого в основании полигона:

- 1* – горные породы основания полигона; *2* – глиняный замок (два или три слоя уплотненной глины по 0,25 м каждый с $K_{\phi} \leq 1 \times 10^{-9}$ м/с);
3 – дренажная труба $\varnothing 0,1$ м; *4* – дренирующий слой из гальки, 0,3 м;
5 – переходный слой, выполняемый отсыпкой минерального несвязного грунта 0,2 м; *6* – первый слой ТБО

Для предохранения глиняного экрана от растрескивания или размягчения, его возводят небольшими участками, которые надёжно защищают дренажным слоем, который должен быть уложен сразу по окончании строительства части экрана.

Назначение дренажной системы – отвод фильтрата с поверхности глиняного экрана, что должно сводить к минимуму возможность просачивания фильтрата через глиняный замок. Дренажная система для сбора и отвода фильтрата состоит из следующих элементов: дренирующего слоя по верху глиняного экрана и системы дрен для отвода фильтрата.

Для дренирующего слоя применяются гравий (гальку) изверженных горных пород с размером фракций от 16 до 32 мм, обеспечивающих коэффициент фильтрации $K_{\phi} \geq 10^{-3}$ м/с. Система дрен для сбора и отвода фильтрата выполняется в виде системы первичных и пластовых дрен.

2.4.4. Противофильтрационные экраны в основании полигона из геосинтетических материалов

Конструкция противофильтрационного экрана, устраиваемого по основанию и внутренним откосам котлована, выполняется из геосинтетических материалов и конструктивно выглядит следующим образом: спланированное основание дна и внутренних откосов котлована; **слой бентофикса**, 7 мм;

слой карбофола, 2,5 мм; слой секутекса. По их верху отсыпается укрывающий слой из крупнозернистого песка, слоем 0,30 метра, рис. 2.9.

Бентофикс – универсальный изолирующий материал, выполненный на минеральной основе (бentonит). Геосинтетическое покрытие на минеральной основе из армированного волокна представляет собой самоизолирующую защитную мембрану с комбинированной структурой. Натуральный натриевый бентонит абсорбирует воду внутри кристаллов и насыщается влагой, благодаря чему закрываются остаточные пространства пор минерала, после чего коэффициент фильтрации составляет 10^{-9} м/сек.

Карбофол – изолирующее полимерное покрытие, изготовленное из полиэтилена высокой плотности низкого давления. Геомембраны из карбофола обеспечивают полную изоляцию от просачивания различных жидкостей, в том числе токсичных.

Секутекс – иглопробивной штапельно-волокнистый нетканый геотекстильный материал, использующийся в качестве защитного слоя. Укрывающий слой из крупнозернистого песка с максимальным диаметром частиц не более 0,5 мм одновременно выполняет функцию дренажного слоя. В слое крупнозернистого песка в последствии устраивается дренажная система для удаления фильтрата, состоящая из дренажных труб, обсыпанных гравийной смесью.

По верху дренажного слоя отсыпается переходный слой из песка, толщиной не менее 0,15 метра.

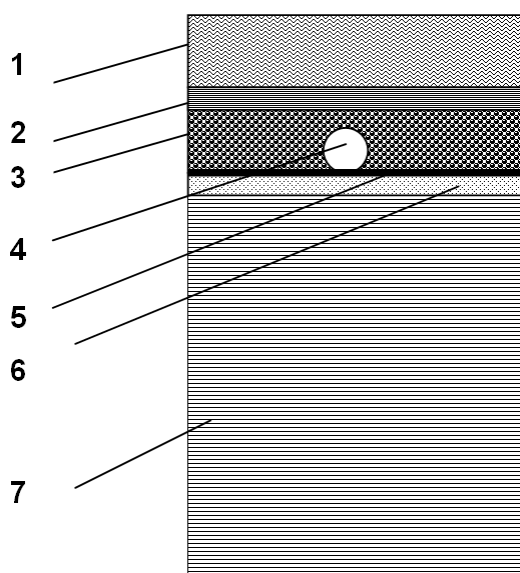


Рис. 2.9. Конструкция противofильтрационного защитного экрана, выполняемого из геосинтетического материала в основании полигона:

- 1 – слой ТБО; 2 – переходный слой из песчаного грунта, 0,2 м;
3 – укрывающий слой из крупнозернистого песка, 0,30 м; 4 – дренажная труба Ø 0,1 м; 5 – геосинтетики (бентофикс, карбофол, секутекс);
6 – выравнивающий слой песка, 0,15 м; 7 – грунты основания полигона

Используемые при устройстве противofiltrационных экранов геопластики должны быть устойчивыми к химической и биологической агрессии, обладать достаточной прочностью на растяжение, пластичностью и долговечностью, а также устойчивостью относительно воздействия грызунов.

2.5. Устройство противofiltrационных экранов полигона

Исходя из гидрогеологических условий (*прил. 5*), основание полигона составляют грунты представленные лёгким суглинком с $k_{\phi} = 0,2 \text{ м/сут} = 2,4 \times 10^{-6} \text{ м/с}$, грунтовые воды расположены на глубине $h_{гв} = 4,8 \text{ м}$.

Гидрогеологические условия участка строительства не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к естественным геохимическим барьерам. Поэтому принимается решение строительства нижнего противofiltrационного экрана, имеющего конструкцию, приведённую на рис. 2.8 б.

При разработке грунта в основании полигона дну котлована придаётся уклон $i = 0,02$ в сторону общего понижения рельефа местности. На спланированной поверхности дна котлована возводится нижний противofiltrационный экран – глиняный замок, состоящий из 3 слоёв глины по 0,25 м каждый, с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} \leq 1 \times 10^{-9} \text{ м/с}$, уложенных послойно с уплотнением каждого слоя.

Поверх глиняного противofiltrационного экрана укладывается дренирующий слой, покрывающий весь участок противofiltrационного экрана, толщиной 0,3 м, отсыпкой дренажной гальки. Дренирующий слой направляет фильтрат к системе дрена, а также защищает глиняный экран от неблагоприятных погодных условий. Поверх дренирующего слоя укладывается переходный слой отсыпкой песка, толщиной до 0,2 м. Поверху переходного слоя следует начинать отсыпку отходов.

2.6. Внутренний дренаж и система удаления фильтрата

2.6.1. Общие положения по проектированию дренажа

Система сбора фильтрата решает его отведение по дну котлована в изолированные водоприёмные ёмкости, расположенные за пределами насыпи отходов (площадки складирования), рассчитанные на периодическую их откачку и вывоз на ближайшие очистные сооружения.

Компонентами системы сбора фильтрата в основании котлованов служат: 1) рельеф поверхностей котлована; 2) отходы; 3) противofiltrационный экран; 4) трубчатая дренажная сеть с щебёночной обсыпкой; 5) приёмные колодцы.

Исходя из опыта проектирования и эксплуатации полигонов захоронения ТБО, параметры дренажной сети принимаются конструктивно с последующей проверкой их расчётным путём.

Дренажная сеть состоит из следующих элементов: 1) системы дрен, уложенных поверху водонепроницаемого экрана, и обсыпанных гравийно-песчаной смесью по методу обратного фильтра (рис. 2.10); 2) дренирующего слоя, выполненного между дренами и по их верху.

Система дрен в котловане устраивается отдельно для каждой очереди эксплуатации полигона первого яруса. Каждая дренажная сеть в котлованах состоит из двух взаимно перпендикулярных коллекторов и входящих в них дрен-собирателей. При этом один из коллекторов соединён с резервуаром накопителем, вынесенным за пределы карт отсыпки.

Коллекторы и дренаи выполняются из перфорированных труб. Оптимальное расстояние между дренами принимаются от 50 до 70 м. Дренажные трубы выполняются из полиэтилена высокого давления, устойчивыми к агрессивной среде фильтрата и достаточно прочными, чтобы они воспринимали давление выше уложенных отходов и динамическую нагрузку от работающей техники. Использование бетонных труб для устройства дренажа не рекомендуется, так как опыт эксплуатации полигонов показал, что бетон не устойчив в агрессивной среде образующегося фильтрата.

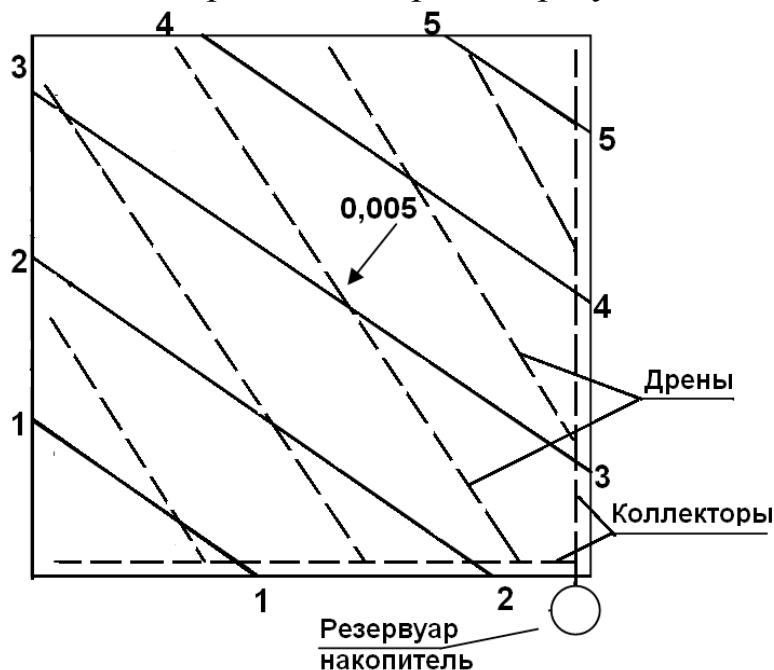


Рис. 2.10. Компоновка дренажной сети в котловане первой очереди эксплуатации полигона: 1-1,...,5-5 – горизонтالي поверхности дна котлована после устройства противofiltrационного экрана

В процессе разработки грунта в котлованах поверхности оснований выполняются наклонными, сходящимися в одной точке с минимальной отметкой в каждом котловане. Уклон принимается не более 0,005. Далее на спланированной поверхности основания устраивается нижний противофильтрационный экран и по его верху укладываются дренажные трубы. Диаметр коллекторных труб принимается равным 150, а дренажных труб – 100 мм. Уклоны дрен и коллекторов принимаются конструктивно в соответствии со спланированным основанием. Монтаж перфорированных труб проводится вручную параллельно с их щебёночной обсыпкой. Для этого можно использовать лёгкий одноковшовый погрузчик. Щебень используется округлой формы, диаметром от 40 до 70 мм.

Дренажные трубы, уложенные по верху противофильтрационного экрана, обсыпаются гравийно-песчаной смесью по методу обратного фильтра. Толщина обсыпки должна быть в два раза больше диаметра трубы. Конструкция дрены приведена на рис. 2.11.

Далее формируется дренажный слой путём отсыпки крупнозернистого песка между коллекторными и дренажными трубами. По верху дренажного слоя из песка формируется переходный слой. После этого укладываются отходы.

Дренажный слой предназначен для быстрого отведения фильтрата к дренажным трубам. Его поверхность должна быть параллельна спланированной поверхности дна котлована.

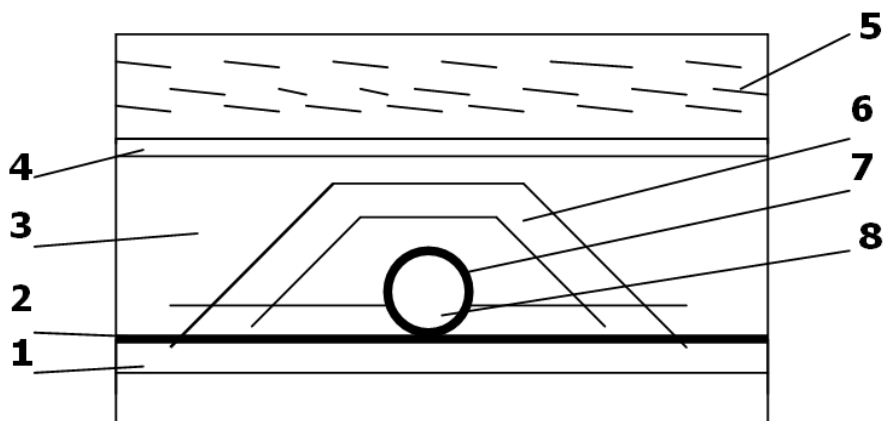


Рис. 2.11. Конструкция дрены: 1 – выравнивающий слой; 2 – противофильтрационный экран, уложенный на выровненную и спланированную поверхность основания под проектный уклон; 3 – защитный слой из крупнозернистого песка; 4 – переходный слой из песка; 5 – отходы; 6, 7 – два слоя гравийно-щебёночной обсыпки дренажных труб по методу обратного фильтра; 8 – дренажная труба

Фильтрат, образующийся в свалочном теле, по дренам поступает в коллекторы, один из которых соединён с приёмным колодцем.

2.6.2. Определение объёма фильтрата, удаляемого из свалочного тела в период эксплуатации полигона

Фильтрат образуется на участке захоронения отходов в течение тёплого и холодного периодов года. В тёплый период – поступают осадки в виде дождя. Образование фильтрата в холодное время года связано с таянием снега на поверхности уложенных отходов за счёт тепла, выделяемого при разложении органического вещества в толще свалочного тела, а также захоронением значительной части выпавшего снега совместно с укладываемыми отходами.

Количество фильтрата, образующегося на полигонах, определяется разницей между величиной выпавших осадков и объёмом влаги, расходуемой на испарение, достижение отходами полной влагоёмкости и на поверхностный сток (рис. 2.12).

Для определения объёма фильтрата, удаляемого из свалочного тела в период эксплуатации полигона, необходимы элементы водного баланса 50% обеспеченности: осадки и испарение с водной поверхности. Для Карельской республики (для которой проводится расчёт), осадки (O) составляют 710, а испарение с водной поверхности (E_0) 404 мм. Таким образом, расчётное значение инфильтрационного питания ($q_{(3/B)}$) за зимне-весенний расчётный период можно определить по следующей зависимости:

$$q_{(3/B)} = [\alpha \times O_{(3/B)} - E_{(3/B)}] \times \frac{1}{T_{3/B}},$$

где $O_{(3/B)}$ – осадки за зимне-весенний расчётный период, приведенные к 10% обеспеченности, мм;

$E_{(3/B)}$ – испарение с поверхности полигона за зимне-весенний расчётный период, мм;

$T_{(3/B)}$ – продолжительность зимне-весеннего периода (180 дней);

α – коэффициент, учитывающий долю осадков, впитывающихся в почву в зимне-весенний период (0,6).

$$O_{(3/B)} = O \times p_1,$$

где O – среднемноголетнее значение осадков 50% обеспеченности, ($O = 710$ мм, «Справочные данные», прил. 4);

p_1 – процентное распределение элементов водного баланса для осадков зимне-весеннего периода, $p_1 = 0,37$ (37%).

$$E_{(3/B)} = E_0 \times p_2,$$

где E_0 – величина испарения влаги с водной поверхности 50% обеспеченности (404 мм, прил. 4);

p_2 – процентное распределение водного баланса для испарения с водной поверхности за зимне-весенний расчётный период (0,12).

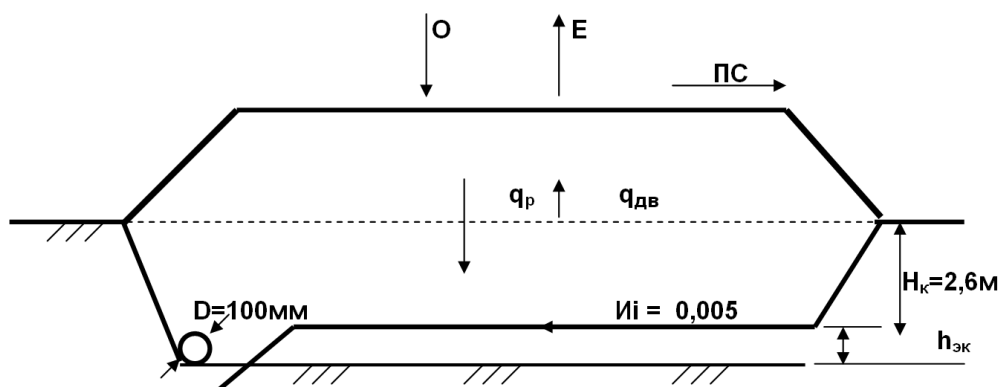


Рис. 2.12. Расчёт притока фильтрата к дрене:

O – атмосферные осадки, мм; E – испарение с поверхности полигона (мм);
 q_p – расчётное значение инфильтрационного питания (мм);
 $q_{дв}$ – дефицит влаги, расходуемой на насыщение отходов до достижения ими состояния полевой влагоёмкости (мм); $ПС$ – поверхностный сток (мм)

Испарение влаги за зимне-весенний период ($E_{(З/В)}$) определяется по следующей формуле:

Тогда, $O_{(З/В)} = 0,71 \times 0,37 = 0,263$ м; $E_{(З/В)} = 0,404 \times 0,12 = 0,0485$ м.

Итак, $q_{(З/В)} = (0,6 \times 0,263 - 0,0485) / 180 = 0,00061$ м/сут.

Аналогично рассчитывается инфильтрационное питание за летне-осенний период ($q_{(Л/О)}$):

$$q_{(Л/О)} = [\alpha \times O_{(Л/О)} - E_{(Л/О)}] \times \frac{1}{T_{(Л/О)}},$$

где $O_{(Л/О)}$ – осадки за летне-осенний расчётный период, приведённые к обеспеченности 10%, мм;

$E_{(Л/О)}$ – испарение с поверхности полигона за летне-осенний расчётный период, мм;

$T_{(Л/О)}$ – продолжительность летне-осеннего периода ($365 - 180 = 185$ сут.);

α – коэффициент, учитывающий долю осадков, впитывающихся в почву в летне-осенний период, $\alpha = 1$.

$O_{(Л/О)} = O \times p_1^* = 0,71 \times (1 - 0,37) = 0,4473$ м, где p_1^* – процентное распределение элементов водного баланса для осадков в зимне-весеннем периоде ($p_1^* = 1 - 0,37 = 0,63$).

$E_{(Л/О)} = E_0 \times p_2^* = 0,404 \times (1 - 0,12) = 0,356$ м, где p_2^* – процентное распределение водного баланса для испарения с водной поверхности за зимне-весенний расчётный период ($p_2^* = 1 - 0,12 = 0,88$).

Тогда $q_{(Л/О)} = [1 \times 0,4473 - 0,356] \times \frac{1}{185} = 0,00049$ м/сут.,

Если считать, что отходы на полигон поступают равномерно в течение всего года, то величину объёма образующегося фильтрата в течение года (Q_ϕ) можно определить по следующей зависимости:

$$Q_{\phi} = [q_{(3/B)} \times T_{(3/B)} + q_{(Л/О)} \times T_{(Л/О)}] \times \Phi_{оч} - \Delta W \times P_{сут} \times [T_{(3/B)} + T_{(Л/О)}] \times \gamma_{\phi},$$

где ΔW – дефицит влажности отходов, т.е. влага, расходуемая на насыщение отходов до полной полевой их влагоёмкости;

γ_{ϕ} – плотность фильтрата, т/м³.

Полная полевая влагоёмкость ТБО составляет 30...40 % от объёма укладываемых отходов. Вместе с тем, влажность отходов, поступающих на полигоны, в среднем составляет 15...20 % от их объёма. Следовательно, дефицит влажности отходов ΔW составит 15% от их объёма. Тогда $Q_{\phi} = [0,00061 \times 180 + 0,00049 \times 185] \times 51136 - 0,15 \times 167,7 \times (180 + 185) \times 1,0 = 1071,2$ м³/год.

Таким образом, годовая величина инфильтрующих осадков по каждой очереди эксплуатации полигона выше величины водонасыщения отходов, поэтому в проекте необходимо предусмотреть системы откачки фильтрата из приёмных колодцев в резервуар-накопитель.

2.7. Проектирование системы дегазации полигона

В процессе захоронения ТБО на полигонах в атмосферный воздух выделяются загрязняющие вещества, являющиеся продуктом разложения органической составляющей отходов (пищевые и древесно-растительные отходы, макулатура и текстиль). При максимально благоприятных условиях для жизнедеятельности метанобразующих бактерий из каждой тонны ТБО образуется 80...150 м³ сырого биогаза, имеющего теплотворную способность 18900...25100 кДж/м³ (4500...6000 ккал/м³).

Установлено, что характер процессов разложения отходов в толще свалочного тела полигона складывается из: скорости их протекания, количества образующегося биогаза, его свойств, интенсивности и продолжительности выделения на разных стадиях эксплуатации полигона. Главными факторами являются: климатические и геологические условия; морфологический и химический составы отходов; площадь, объём и глубина (высота) свалочного тела полигона; влажность, плотность, реакция среды рН, температура отходов в теле полигона и другие.

В соответствии с морфологическим составом ТБО (применительно к центральному району), процент отходов, содержащих органическое вещество, составит: пищевые отходы – 35...45, бумага и картон – 32...35, древесина и листва – 1...2, текстиль – 3...5%. Ежегодное поступление ТБО на полигон составляет 61214 т (табл. 2.2).

Учитывая морфологический состав поступивших отходов, их ежегодная органосодержащая часть (G) составит:

$$G = (0,35 + 0,32 + 0,01 + 0,03) \times 61214 = 43462 \text{ т/год.}$$

Принимая величину удельного образования биогаза $g = 80 \text{ м}^3/\text{т}$ в результате разложения одной тонны органосодержащих отходов, ежегодный объём биогаза составит: $Q_{\text{б/г}} = g \times G = 80 \times 43462 = 3476960 \text{ м}^3/\text{год}$.

Как показала практика эксплуатации полигонов ТБО, в первоначальный период продолжительностью до 2...3 лет разложение отходов происходит в аэробных условиях с преимущественным образованием CO_2 , и только по истечении этого срока процесс разложения органического вещества становится анаэробным с выделением биогаза.

В процессе эксплуатации полигона часть образующегося в свалочном теле биогаза, по мере его накопления и повышения пластового давления, выходит на поверхность полигона. После прекращения его эксплуатации и перекрытия, продолжается анаэробное разложение отходов с выделением биогаза. Этот период может составлять около 10 лет. В связи с чем необходимо предусмотреть дегазацию полигона. Существует **пассивная дегазация** (организованный выпуск биогаза в атмосферный воздух) и **активная дегазация** (путём принудительной его откачки) для последующего использования в энергетических целях.

Для последующего использования биогаза в энергетических целях требуется наличие достаточного количества и стабильного давления. Обычно образование биогаза на полигонах характеризуется непостоянством объёма и низким давлением (30...40 мм вод.ст.). Кроме того, при активной дегазации происходит подсос воздуха, что чревато реальной опасностью взрыва газовоздушной смеси.

Поэтому при выполнении окончательной рекультивации полигона перед созданием верхнего полупроницаемого экрана необходимо предусмотреть устройство дренажной системы для сбора и удаления биогаза в атмосферу через специальные вертикальные выпуски. Дренажная сеть представляет собой газосборные каналы, устраиваемые в верхней толще уложенных отходов последней очереди эксплуатации полигона.

Поперечное сечение траншей назначают конструктивно из условия обеспечения скорости движения газа в дренажном газопроводе не выше 0,1 м/с. Учитывая ежегодный объём образования биогаза ($Q_{\text{б/г}}$) 3476960 $\text{м}^3/\text{год}$ и допустимую скорость движения биогаза 0,1 м/с, определяется

суммарное сечение газосборных траншей: $F = \frac{3476960}{365 \times 24 \times 3600 \times 0,1} = 1,1 \text{ м}.$

Принимая сечение газосборной траншеи прямоугольной формы (глубина – 0,5 и шириной – 0,4 м ($0,5 \times 0,4 = 0,2$)), потребуется устройство $n = \frac{1,1}{0,2} =$

5,5 (6) траншей. Трассировку траншей выполняют в двух взаимно перпендикулярных направлениях: вначале прокладывают две взаимно перпендикулярные траншеи по середине полигона и по две траншеи, отстоящие от

средних, на расстоянии $L = \frac{Bn}{4} = \frac{320}{4} = 80$ м. В местах пересечения газосборных траншей устраиваются вертикальные выпуски, высотой не менее пяти метров.

2.8. Проектирование нагорных каналов

С целью исключения поступления на территорию полигона поверхностного стока со стороны водосбора устраиваются нагорные каналы. Длина нагорных каналов принимается из условия защиты территории полигона с нагорной стороны (рис. 2.1). Поверхностный сток, собираемый нагорными каналами, отводится в ливневую канализацию. При наличии благоприятных гидрогеологических условий на территории полигона (неглубокое залегание водопроницаемых горных пород и низкое залегание уровня грунтовых вод) и незначительном загрязнении поверхностного стока используются водопоглощающие колодцы.

Поперечное сечение нагорного канала принимается трапецеидальной формы. В проекте принимается ширина канала по дну (v_k), которая колеблется от 0,5 до 1,0 метра, в зависимости от ожидаемого расхода воды. Глубина канала (h_k) определяется расчётным путём. Заложение откосов канала (m) принимается в зависимости от их устойчивости. При заложении откосов канала 1,5 и вида грунта их устойчивость обеспечивается. При $m = 1,5$; $v_k/h_k = 0,61$.

$$\text{Тогда } h_k = \frac{v_k}{0,61} = \frac{0,6}{0,61} = 0,98 \text{ м.}$$

Уклон дна нагорного канала принимается с учётом рельефа местности, но не менее 0,003. В проекте принимаем $i = 0,003$. Для равнинных районов при водосборной площади бассейна $< 0,5 \text{ км}^2$ расчётный расход поверхностного стока ($Q_{\text{стока}}$) определяется по формуле:

$$Q_{\text{стока}} = 0,56 \times h \times F \times \beta \times \gamma \times \sigma,$$

где h – толщина слоя поверхностного стока при продолжительности ливня 30 мин, $h = 24$ мм;

F – площадь водосборного бассейна ($0,2 \text{ км}^2$);

β – коэффициент расплывания паводка (1);

γ – коэффициент неравномерности выпадения осадков (1);

σ – коэффициент озёрности бассейна (0,8).

$$Q_{\text{стока}} = 0,56 \times 24 \times 0,2 \times 1 \times 1 \times 0,8 = 2,15 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Далее устанавливается скорость течения воды (v) в канале и пропускная его способность (Q_k) при запроектированном сечении канала ($v_k = 0,6$ м, $h_k = 0,98$ м и $m = 1,5$), продольном уклоне $i = 0,003$ и коэффициенте шероховатости $n = 0,025$.

Скорость течения воды $v = C \times \sqrt{Ri}$, коэффициент Шези по формуле Манинга $C = \frac{1}{n} \times R^y$,

где v – скорость течения воды в канале, м/с;

C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м;

y – показатель степени ($y = \frac{1}{6} = 0,167$).

Гидравлический радиус R определяется по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h_k \times (e_k + m \times h_k)}{e_k + 2 \times h_k \times \sqrt{1+m}} = \frac{0,98 \times (0,6 + 1,5 \times 0,98)}{0,6 + 2 \times 0,98 \times \sqrt{1+1,5}} = 0,54 \text{ м},$$

где ω – площадь живого сечения, м²;

χ – смоченный периметр живого сечения канала, м.

Рассчитав скорость течения воды $v = \frac{1}{0,025} \times 0,54^{0,167} \sqrt{0,54 \times 0,003} = 1,06$

м/сек, определяется пропускная способность канала $Q_k = \omega \times v = 2,03 \times 1,06 = 2,15 \text{ м}^3/\text{с}$.

Сравнивая $Q_{\text{СТОКА}} = 2,15 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_k = 2,15 \text{ м}^3/\text{с}$, нужно сделать вывод о том, что запроектированное сечение канала обеспечивает отвод расчётного объёма поверхностного стока.

3. АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЗОНА И ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Административно-хозяйственная зона (АХЗ) проектируется для размещения: административно-бытового корпуса (рис. 3.1); контрольно-пропускного пункта совместно с пунктом стационарного радиометрического контроля, весовой; гаража и площадки с навесом; мастерских для ремонта машин и механизмов; склада топливно-смазочных материалов; складов для хранения энергоресурсов, строй материалов, спецодежды, хозяйственного инвентаря и др.; объектов линий электроснабжения и других сооружений; пожарного резервуара.

Территория АХЗ должна иметь твёрдое покрытие, освещение и въезд со стороны полигона. На крупных полигонах, принимающих более 360 тыс. м³ ТБО в год и рассчитанных на срок эксплуатации более 15 лет, водоснабжение обеспечивается из артезианских скважин, проектируемых в составе объекта.

На выезде из полигона должна быть предусмотрена контрольно-дезинфицирующая яма в виде железобетонной ванны длиной 8, глубиной

0,3 и шириной 3 м для дезинфекции колёс мусоровозов. Ванна в тёплый период года заполняется 3-процентным раствором лизола и опилками.

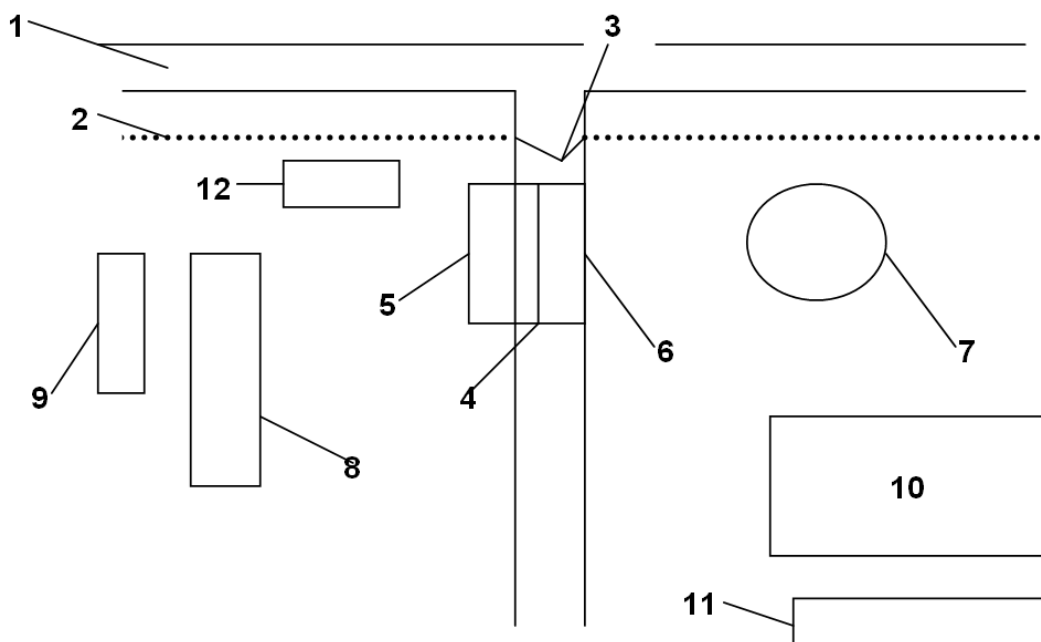


Рис. 3.1. Схема административно-хозяйственной зоны:

- 1 – подъездная дорога; 2 – ограждение; 3 – ворота и пост радиометрического контроля; 4 – весовая; 5 – контрольно-пропускной пункт; 6 – дезинфицирующая яма; 7 – пруд для пожаротушения; 8 – вагончик для рабочих; 9 – санузел; 10 – стоянка для машин; 11 – склад топливно-смазочных материалов; 12 – трансформаторная подстанции

Расход воды на пожаротушение составляет 10 л/с. Для этой цели на территории АХЗ должен быть предусмотрен железобетонный резервуар или пруд, ёмкостью около 50 м³.

По периметру всей территории полигона проектируется ограждение, высотой 1,8 метра. В ограде полигона у производственно-бытового здания проектируются ворота или шлагбаум. Наружное освещение по постоянной схеме предусматривается только в пределах хозяйственной зоны. Суточные карты освещаются по временной схеме. Минимальная освещённость рабочих карт 5 Лк.

4. САНИТАРНО-ЗАЩИТНАЯ ЗОНА И СИСТЕМА МОНИТОРИНГА

4.1. Санитарно-защитная зона

Согласно санитарным правилам и нормам «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов твёрдых бытовых отходов»

СанПиН 2.1.7.722-98 санитарная зона принимается – 0,5 км. В санитарно-защитной зоне запрещается размещение жилой застройки, скважин и колодцев для питьевых целей.

4.2. Система мониторинга

На полигоне ТБО разрабатывается экомониторинг для осуществления контроля за качественным и количественным составом поступающих на полигон отходов; техническим состоянием инженерных сооружений; за изменением качества поверхностных, подземных вод и атмосферного воздуха; почвенным и растительным покровом; шумовым загрязнением.

На основании динамики изменения показателей, характеризующих состояние отдельных компонентов природной среды (атмосферного воздуха, почвы и биосферы, и поверхностных и подземных вод), составляется оперативный или среднесрочный прогноз дальнейшего изменения экологической ситуации как на самом полигоне, так на прилегающих к нему территориях. Система мониторинга служит информационной основой при определении эффективности проведённых экологических мероприятий, а также базой данных для разработки технических и технологических решений по совершенствованию эксплуатации полигона.

Программа мониторинга включает следующие наблюдения за:

- ✓ химическим составом и количеством образующегося в свалочном теле фильтрата;
- ✓ изменением качества грунтовых вод за пределами полигона;
- ✓ загрязнением атмосферного воздуха, как в рабочей зоне на территории полигона, так и за её пределами;
- ✓ соответствием отходов, поступающих на полигон, заявленной степени опасности.

Мониторинг химического состава фильтрата должен проводиться как на выходе из каждой очереди полигона (для определения времени наступления метановой фазы), так и на выходе со всего полигона (для определения его влияния на очистные сооружения и систему очистки). Периодичность измерений – один или два раза в год. С резким изменением качественного и количественного составов фильтрата периодичность наблюдений увеличивается.

Качество грунтовых вод контролируется периодически через наблюдательные скважины, пробуренные за пределами полигона, позволяющие обнаруживать изменения химического состава подземных вод.

Система мониторинга должна включать постоянное **наблюдение за состоянием воздушной среды**. В этих целях ежеквартально проводятся анализы проб воздуха, отбираемого в приземном слое в зоне перекрытого участка свалки и на границе с санитарно-защитной зоной, на содержание в

нём соединений, характеризующих процесс биохимического разложения ТБО, представляющих наибольшую опасность.

Определение количества и состава газов в атмосферном воздухе проводится систематически с привлечением специализированной организации. В атмосферном воздухе определяют в обязательном порядке: содержание пыли, микробную обсеменённость и аммиак. В отдельных случаях этот порядок может быть расширен за счёт поступления в атмосферный воздух фенола, формальдегида, серы и сероводорода, метана, диоксидов углерода и азота и других соединений.

В случае установления степени загрязнения атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны выше предельно-допустимых концентраций (ПДК) должны быть приняты соответствующие меры, направленные на снижение уровня загрязнения.

Система мониторинга должна включать постоянное **наблюдение за состоянием почвы в зоне возможного влияния свалки**. С этой целью контролируется качество почвы и растений на содержание экзогенных химических веществ (ЭХВ), которые не должны превышать ПДК в почве и, соответственно, остаточные количества вредных ЭХВ в растительной товарной массе не должны быть выше допустимых пределов. Контроль содержания загрязняющих веществ в растениях и почве проводится не реже одного раза в год (июль-август).

В почве определяется содержание тяжёлых металлов и мышьяка, углеводородов (суммарное содержание), нефтепродуктов, бензапирена, наличие патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. В программу мониторинга не включён анализ поверхностных вод, т.к. предполагается, что полигон не будет оказывать влияние на этот тип вод из-за достаточно большого удаления полигона от поверхностных водных объектов.

Ввиду того, что полигон находится на довольно значительном удалении от населённых пунктов, а при его строительстве и эксплуатации используются общестроительные машины и механизмы, определение уровней шумовых воздействий на окружающую среду не проводится.

Химические и токсичные отходы, недопустимые для захоронения на полигоне, контролируются визуально при их поступлении на полигон. Визуальный осмотр проводится на участке приёма отходов, а также на участке их захоронения машинистами бульдозеров и катков. Если отходы не соответствуют заявленным требованиям, то они к захоронению на данном полигоне не принимаются.

Мониторинг фильтрата и подземных вод. Цель мониторинга фильтрата – получение информации о степени его токсичности для назначения метода его очистки.

Наблюдения рекомендуется проводить 3...4 раза в год, и один раз в год фильтрат подвергают полному химическому анализу. Задача про-

граммы мониторинга подземных вод заключается в получении информации об изменении их состава, вызванного возможным просачиванием фильтрата через защитный экран.

Параметры, характеризующие качество подземных вод: прозрачность; pH; количество взвешенного вещества; химическая и биохимическая потребности в кислороде; полифаги; общие колиформные бактерии; яйца гельминтов.

К этому перечню добавляются вещества, повышенное содержание которых обусловлено их присутствием в свалочных грунтах: нефтепродукты, толуол, этилбензол, фенол, крезолы, хлорбензол, дихлорбензол, тяжёлые металлы, мышьяк и др.

Пробы воды отбирают из наблюдательных скважин, рис. 4.1. Для создания системы слежения за изменением качества подземных вод наблюдательные скважины обустраиваются в санитарно защитной зоне полигона в количестве не менее пяти штук. Две скважины располагаются выше полигона относительно притока подземных вод, (которые будут характеризовать их исходное состояние) и три – ниже полигона относительно оттока подземных вод на расстоянии 50...100 метров от полигона (которые будут характеризовать степень влияния полигона на изменение качества подземных вод).

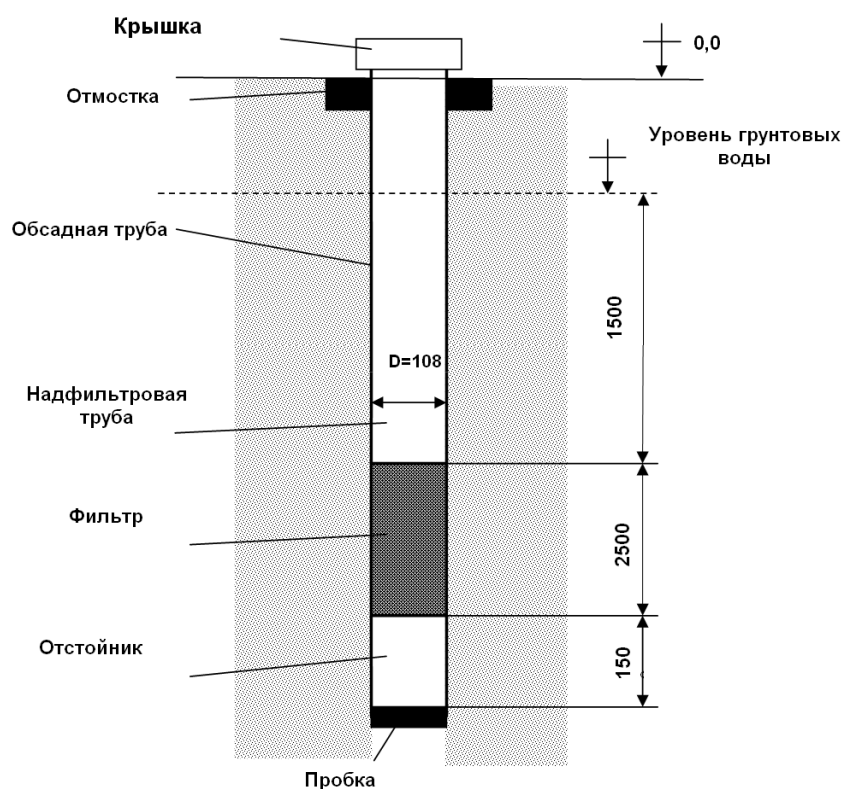


Рис. 4.1. Конструкция наблюдательной скважины

Чтобы иметь достоверную информацию о качестве грунтовых вод, скважины должны быть пробурены в процессе строительных работ. Периодичность отбора проб воды устанавливается не реже двух раз в год.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНА

В процессе заполнения полигона отходами должны обеспечиваться проходимость мусоровозов и строительной техники, а также общая устойчивость возводимого сооружения из свалочных грунтов.

Для этого проектом предусматривается поэтапный ввод мощностей без остановки приёма отходов на полигон. Технологическая схема эксплуатации включает пять очередей. *Первая очередь* представляет собой пусковой комплекс. В пусковой комплекс входят состав сооружений и виды работ, необходимые для обеспечения производственной деятельности предприятия.

Состав работ пускового комплекса включает следующие работы: 1) строительство автодороги до полигона; 2) ограждение территории полигона и установка ворот; 3) возведение хозяйственно-административной зоны с полным набором сооружений; 4) разработка грунта в котловане первой очереди и складирование его во временные кавальеры; 5) строительство кольцевой автодороги от хозяйственной зоны до полигона; 6) строительство нагорного канала и противопожарного пруда и 7) прокладка сети электроснабжения.

Далее проводится подготовка котлована первой очереди под эксплуатацию. Состав работ подготовки котлована включает: планировку основания до проектных отметок с разуклонкой под дренажную сеть; устройство противофильтрационного экрана по дну и откосам котлована; укладку дренажных труб с устройством устьевого колодца.

После этого проводится заполнение котлована первой очереди до уровня дневной поверхности земли. В процессе заполнения полигона отходами проводят их приём, складирование и перекрытие уплотнённых отходов минеральным грунтом. Основные этапы складирования отходов на полигоне приведены на рис. 5.1.

Для обеспечения общей устойчивости полигона как насыпного сооружения после заполнения котлована первой очереди по его периметру осыпаются дамбы обвалования из минерального грунта, и проводится заполнение первой очереди отходами по высотной схеме до верхней проектной отметки первого яруса.

Аналогично проводятся работы по заполнению 2, 3 и 4 очередей эксплуатации полигона.

Проезд к участкам захоронения отходов осуществляется по кольцевой автодороге. Для съезда в котлованы предусматривается устройство пандусов-съездов, при заполнении полигона по высотной схеме – пандусов-въездов.

После заполнения 1, 2, 3 и 4 очередей полигона до проектной отметки I яруса верхнее основание выравнивают минеральным грунтом под единый уровень и по высотной схеме приступают к заполнению пятой очереди эксплуатации полигона (II яруса).

Заполнение полигона отходами проектируется **картовым методом**. Прибывающие на полигон мусоровозы разгружаются возле рабочих карт. Для этих целей вблизи каждой рабочей карты организуется площадка разгрузки, которая условно разбивается на две части: на одной разгружаются мусоровозы, на другой работают бульдозеры. Выгруженные из мусоровозов отходы накапливаются на площадке и, затем, бульдозерами перемещаются в рабочие карты. Заполнение рабочих карт проводится по методу «надвиг» при работе на нижних отметках, либо по методу «сталкивание» – на верхних отметках.

При работе **по методу «надвиг»** отходы перемещаются с площадок разгрузки бульдозерами в пределы рабочей карты, расположенной в основании формируемого яруса, создавая на ней вал с пологим откосом ($m = 7$) и толщиной укладываемого слоя отходов до 0,5 метра.

Складирование ТБО **методом «сталкивания»** выполняется сверху вниз. При этом методе мусоровозы разгружаются также на площадках разгрузки, устраиваемых возле рабочей карты, но расположенных на верхней заизолированной поверхности заполняемого яруса, сформированного в предыдущие дни.

Размеры рабочей карты и площадок разгрузки приведены на рис. 5.2.

При разгрузке мусоровозов плотность ТБО уменьшается и достигает значений около $0,210 \text{ т/м}^3$. Тогда, суточный объём ТБО ($V_{\text{сут}}$), принимаемых на полигон, составит:

$$V_{\text{сут}} = \frac{P_{\text{сут}}}{\gamma} = \frac{167,7}{0,210} = 798 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Высота формируемого яруса ТБО ($h_{\text{я}}$) на рабочей карте – 1,8 м. Тогда ширина рабочей карты ($B_{\text{рк}}$) при заложении внешнего откоса формируемого яруса $m = 7$ составит: $B_{\text{рк}} = \sqrt{1 + m^2} \times h_{\text{я}} = \sqrt{1 + 7^2} \times 1,8 = 12,7 \text{ м}$. Площадь поперечного сечения отсыпаемых отходов на рабочей карте ($\omega_{\text{сут}}$) составит: $\omega_{\text{сут}} = B_{\text{рк}} \times h_{\text{с}} = 12,7 \times 0,5 = 6,35 \text{ м}^2$.

Длина рабочей карты ($L_{\text{рк}}$) составит $L_{\text{рк}} = \frac{V_{\text{сут}}}{\omega_{\text{сут}}} = \frac{798}{6,35} = 125 \text{ м}$.



Рис. 5.1. Основные операции, выполняемые при заполнении полигона отходами

Учитывая доставку отходов на полигон мусоровозами, площадки для их разгрузки будут иметь размеры: длину $L_{пр} = \frac{L_{рк}}{2} = \frac{125}{2} = 65$ м и ширину $B_{пр}$ не менее 3 м. Тогда площадь площадки разгрузки мусоровозов составит $F_{р/м} = 65 \times 3 = 195 \text{ м}^2$, что вполне достаточно для приёма мусоровозов КО-415А с объёмом кузова 23 м^3 .

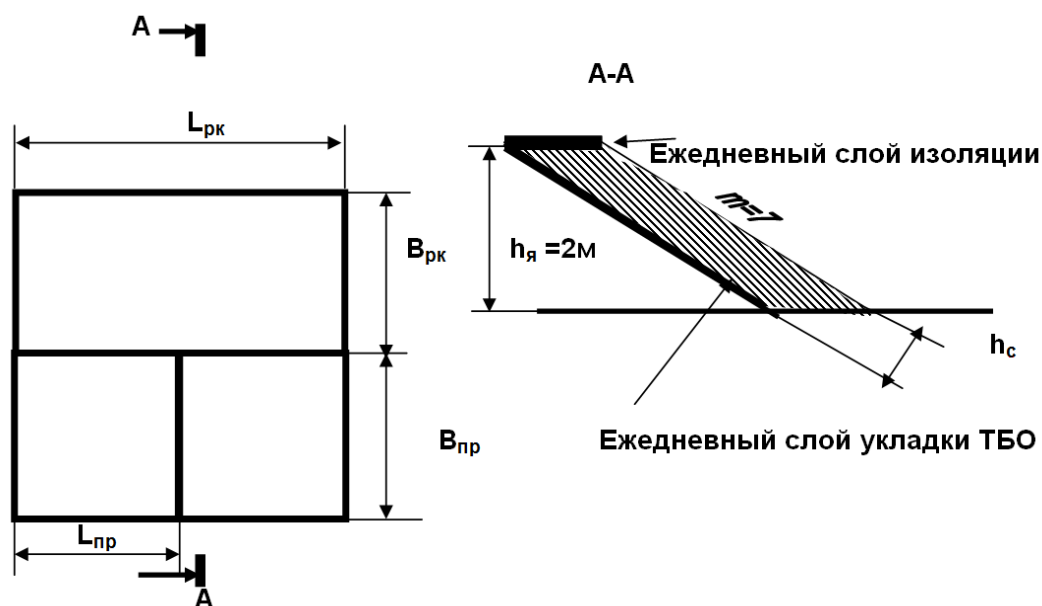


Рис. 5.2. Рабочая карта и площадки разгрузки

После заполнения рабочей карты отходами с толщиной слоя 0,5 м производят их уплотнение. Выполняют его кулачковыми катками при 4-кратном попутном проходе по одному и тому же следу. Плотность ТБО после проходки кулачковых катков достигает 0,6...0,8 т/м³. В результате уплотнения произойдёт уменьшение объёма уплотняемого слоя с $V_{\text{сум}}$ до $V_{\text{уп}}$. Учитывая постоянство массы складироваемых отходов $V_{\text{сут}} \times \gamma_1 = V_{\text{уп}} \times \gamma_2$, определяют уменьшение толщины их слоя ($h_{\text{суп}}$) после уплотнения:

$$h_{\text{суп}} = \frac{h_{\text{с}} \times \gamma_1}{\gamma_2} = \frac{0,5 \times 0,21}{0,7} = 0,15 \text{ м.}$$

Уплотнённый слой ТБО в процессе формирования яруса в пределах рабочей карты укладки ТБО высотой 1,8 м в конце рабочего дня изолируется слоем минерального грунта $h = 0,2$ м.

Далее определяется ширина уплотнённой полосы отходов (b), которая перекрывается слоем минерального грунта:

$$b = h_{\text{суп}} \times \sqrt{1 + m^2} = 0,15 \times \sqrt{1 + 7^2} = 1,1 \text{ м.}$$

Тогда суточная потребность в минеральном грунте ($V_{\text{гсум}}$) составит:

$$V_{\text{гсут}} = b \times h \times L_{\text{рк}} = 1,1 \times 0,2 \times 125 = 27,5 \text{ м}^3.$$

При эксплуатации полигона основными механизмами, выполняющими работы по перемещению, разравниванию, и планированию отходов служат бульдозеры и катки. Для устройства изолирующих слоёв используются автосамосвал и экскаватор. Грунт разрабатывается экскаватором в котлованах или кавальерах с его подвозкой к изолируемым рабочим картам. Разравнивание и уплотнение минерального грунта выполняется также бульдозером.

6. ЗАКРЫТИЕ ПОЛИГОНА И ПЕРЕДАЧА УЧАСТКА НА ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

После заполнения полигона до проектной отметки проводят его закрытие и выполняют работы по рекультивации. Для этого последний слой отходов перед закрытием полигона засыпают слоем минерального грунта.

На высоконагружаемых полигонах со сроком эксплуатации не менее пяти лет допускается превышение проектной отметки на 10%. На момент закрытия полигон представляет собой насыпной холм с заложением откосов $m=3$. **Рекультивация закрытого полигона** направлена на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности восстанавливаемой территории, а также на улучшение экологической обстановки вокруг неё. Для этого после стабилизации закрытого полигона выполняют работы по укреплению его наружных откосов. Материалом для этой цели служат минеральные грунты, вынутые при устройстве котлована, а также привоз-

ные грунты и материалы согласно принятой конструкции верхнего защитного экрана. Рекультивация, как правило, проводится в два этапа (технический и биологический).

6.1. Технический этап рекультивации

Технический этап рекультивации полигона включает: *1)* укрепление внешних откосов полигона путём их выколаживания отсыпкой избыточного минерального грунта и почвы; *2)* завоз необходимых строительных материалов для устройства многофункционального перекрытия; *3)* устройство слабопроницаемого финального перекрытия и создание системы по сбору биогаза.

Финальное перекрытие поверхности полигона должно включать систему гидроизоляции и газовентиляции. Конструкция защитного (гидроизоляционного) экрана в системе финального перекрытия поверхности участка складирования отходов, для уменьшения объёмов осадков, поступающих в тело полигона, выполняется в виде глиняного замка или гидроизоляционного экрана из геосинтетических материалов.

Финальное перекрытие с устройством глиняного замка показано на рис. 6.1. В процессе укладки финишного слоя ТБО поверхности полигона придаётся уклон от его центра в сторону краёв ($i = 0,01$) с целью отвода поверхностного стока. На спланированную поверхность отходов наносится защитный слой минерального грунта, отсыпаемый в процессе эксплуатации полигона, толщиной 0,2 метра. Далее по верху защитного слоя наносится дренажный слой отсыпкой гальки, предназначенный для отвода биогаза и толщиной 0,3 метра. Затем возводится противодиффузионный экран (два слоя уплотнённой глины по 0,25 метра каждый).

Перед уплотнением глина доводится до оптимальной влажности. По верху глиняного противодиффузионного экрана укладывается дренирующий слой (0,3 м) из гальки для отвода просачивающихся атмосферных осадков. Перед отсыпкой рекультивационного слоя по дренирующему слою отсыпается переходный слой по методу обратного фильтра из песка и гравия, а затем отсыпается слой из потенциально плодородных горных пород (лёгкий суглинок, супесь и др.) и почвенный слой от 0,15 до 1,0 метра, в зависимости от последующего целевого использования образующейся территории.

Конструкцию защитного экрана из геосинтетических материалов можно принять следующего вида. В начале после закрытия полигона и его стабилизации выполняется планировка поверхности полигона и устройство системы сбора и удаления биогаза. Далее проводится песчаная подготовка под гидроизоляцию из геотекстильного материала.

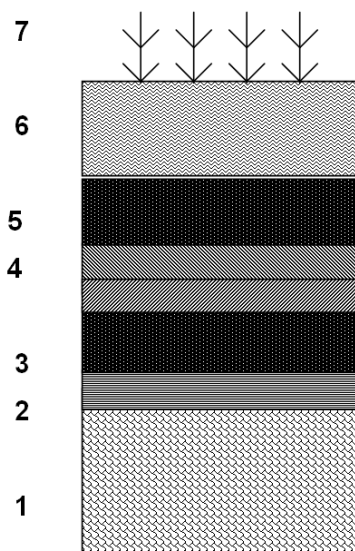


Рис.6.1. Конструкция защитного экрана в системе финального перекрытия поверхности полигона ТБО:

1 – финишный слой ТБО; **2** – защитный слой минерального грунта, отсыпаемый в процессе эксплуатации полигона, 0,2 м; **3** – дренажный слой из гальки, предназначенный для отвода биогаза (0,3 м); **4** – противofильтрационный экран (два слоя уплотнённой глины по 0,25 м каждый), 0,5 м; **5** – дренажный слой из гальки для отвода атмосферных осадков (0,3 м); **6** – рекультивационный слой, состоящий из слоя почвы и потенциально плодородных горных пород, 0,15...1,0 м, в зависимости от последующего целевого использования образующейся территории; **7** – травостой

На подготовленную поверхность расстилается геотекстильный материал (например, Stcudran DS 601 K201), имеющий толщину 2 мм. Далее по его верху расстилается гидроизоляционный слой из бентофикса, имеющий толщину 7 мм, который накрывается слоем геотекстильного материала, например, скудрайна, толщиной 2 мм. По верху скудрайна отсыпается дренажный слой из щебня, толщиной 0,3 метра, по верху которого устраивается слой потенциально плодородного грунта (лёгкий суглинок или супесь), мощностью 0,8 метра, и плодородный слой (0,2 метра).

6.2. Биологический этап рекультивации

Биологический этап рекультивации включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий.

Для защиты сформированных грунтовых поверхностей от ветровой и водной эрозии проводится их озеленение. По склонам и бермам (террасам) высаживаются защитные древесно-кустарниковые насаждения, а по откосам высеваются многолетние травы. Верхнее основание полигона обустраивается в зависимости от последующего целевого использования.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении в табличной форме (рис. 7.1) следует привести основные объёмы работ, предусматриваемые проектом.

Номер п./п.	Наименование	Единицы измерения	Количество
1.			
...			
п.			

Рис. 7.1. Форма таблицы по технико-экономическим показателям

В перечень нужно включить: **1)** годовой объём накопления ТБО на полигоне; **2)** проектная вместимость полигона; **3)** площадь отвода; **4)** объём и площадь кавальера плодородного грунта; **5)** объём и площадь кавальера минерального грунта 1 очереди; **6)** объём образующегося годового жидкого фильтрата; **7)** годовой объём образования биогаза; **8)** суточный объём ТБО, поступающих на полигон; **9)** суточная потребность в минеральном грунте.

Библиографический список

1. Сметанин, В.И. Учебное пособие по курсовому проектированию: проект полигона захоронения твёрдых бытовых отходов / В.И. Сметанин, И.А. Соломин, О.И. Соломина. – М.: МГУП, 2006. – 68 с.

2. Бадагуев, Б.Т. Экологическая безопасность предприятия: приказы, акты, инструкции, журналы, положения, планы / Б.Т. Бадагуев. – М.: Альфа-Пресс, 2011. – 568 с.

3. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: согласована Мособлкомприродой от 5.02.1997 г. № ЭЭ-8. – М., 1997. – 39 с.

4. Методические рекомендации по оформлению выпускных квалификационных работ, курсовых проектов/работ для очной, очно-заочной (вечерней) и заочной форм обучения / сост.: А. Н. Тритенко, В. Н. Бриш, А. В. Прыганова [и др.] . - Вологда : ВоГТУ , 2012 . - 52 с.

5. СанПин 2.1.7.1322–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. – Введ. 15.06.2003. – М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003. – 24 с.

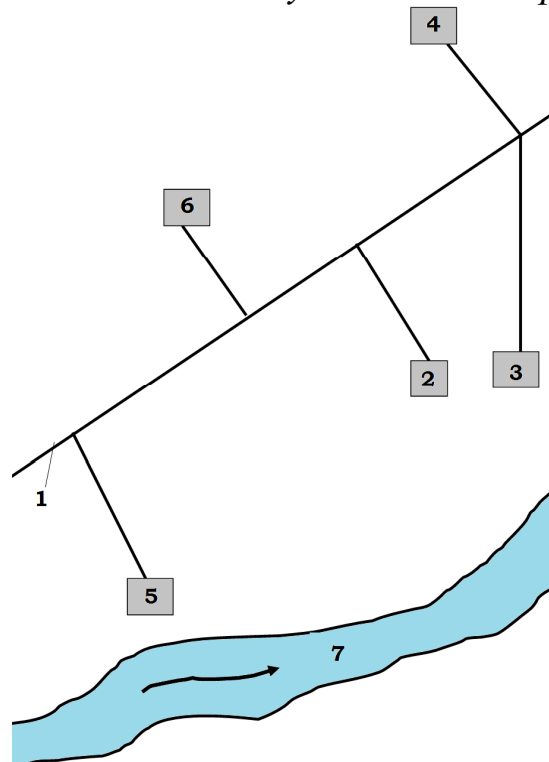
6. СП 2.1.7.1038-01. Санитарные правила. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твёрдых бытовых отходов. – Введ. 30.05.01 № 16. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. – 16 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Исходные данные для проектирования

Приложение 1

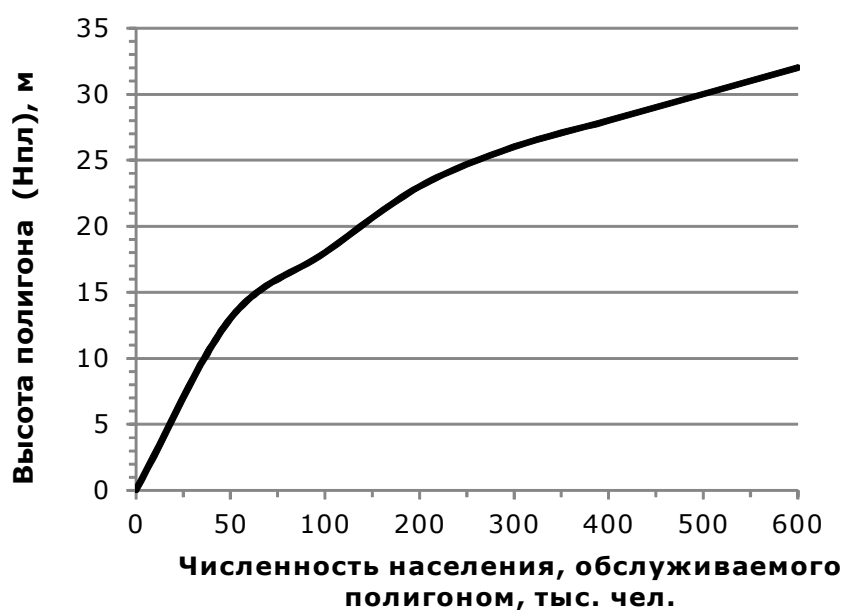
Ситуационный план обслуживаемой территории



1 – дорога; 2,3,4,5 – населённые пункты, обслуживаемые полигоном;
6 – территория, отведённая для размещения полигона; 7 – река

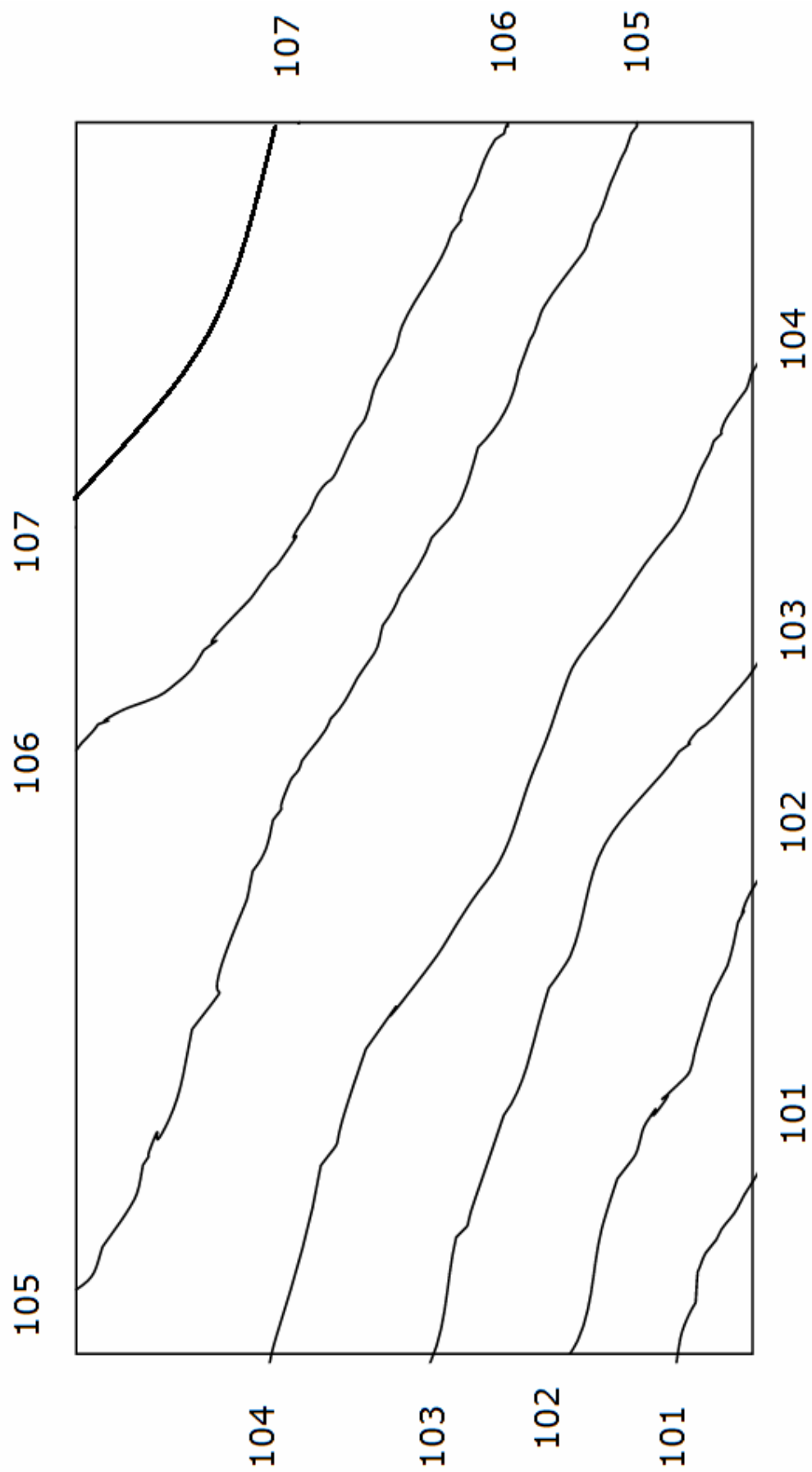
Приложение 2

*Зависимость высоты полигона
от численности обслуживаемого населения*



Приложение 3

Топографический план строительной площадки (М 1:10000)



Справочные данные для проектирования

Вариант	Продолжительность эксплуатации, лет	Численность населённых пунктов, тыс. чел				Толщина плодородного слоя, мм	Осадки, мм	Испаряемость с водной поверхности, мм	Регион строительства (область, республика, край)
		T	H_1	H_2	H_3	H_4	h_p	O	E
1	10	45	67	33	74	0,20	680	356	Архангельская
2	12	47	64	37	85	0,25	815	241	Вологодская
3	14	49	61	41	96	0,15	770	510	Ленинградская
4	16	51	58	45	107	0,20	640	258	Мурманская
5	18	53	55	49	118	0,30	770	501	Новгородская
6	20	55	52	53	129	0,30	770	548	Псковская
7	22	57	49	57	140	0,20	710	404	Карелия
8	24	59	46	61	128	0,25	745	370	Коми
9	10	61	43	65	116	0,20	720	561	Брянская
10	12	63	40	62	104	0,25	694	543	Владимирская
11	14	65	37	59	89	0,15	710	543	Ивановская
12	16	67	34	56	74	0,20	737	515	Тверская
13	18	69	36	53	59	0,30	702	526	Калужская
14	20	71	38	50	65	0,30	747	511	Костромская
15	22	73	40	47	71	0,20	687	457	Орловская
16	24	75	42	44	77	0,25	68	492	Московская
17	10	77	44	41	83	0,20	583	447	Рязанская
18	12	79	46	38	89	0,25	750	535	Смоленская
19	14	81	48	35	95	0,15	636	471	Тульская
20	16	83	50	32	101	0,20	733	508	Ярославская
21	18	85	52	29	107	0,30	700	550	Нижегородская
22	20	87	54	45	113	0,30	695	533	Марийский
23	22	89	56	61	119	0,20	610	494	Мордовский
24	24	91	58	77	125	0,25	660	541	Чувашский
25	10	93	60	93	131	0,30	631	453	Татарстан
26	12	95	62	109	125	0,30	590	441	Свердловская
27	14	97	64	125	119	0,20	744	432	Пермская
28	16	99	66	78	113	0,25	680	492	Московская
29	18	101	68	31	107	0,20	631	453	Татарстан
30	20	103	70	45	101	0,25	737	515	Тверская
31	22	105	72	59	95	0,15	702	526	Калужская
32	24	107	74	73	89	0,20	747	511	Костромская
33	20	109	76	87	83	0,30	687	457	Орловская

Приложение 5

Гидрогеологические условия района строительства полигона

Вариант	Наименование грунтов в основании полигона	Коэффициент фильтрации (K_f), м/с	Глубина залегания грунтовых вод (h_{zp}), м
1	песок	1,000	6,3
2	супесь	0,500	5,1
3	суглинок лёгкий	0,150	6,2
4	суглинок тяжёлый	0,012	5,0
5	песок	1,100	5,3
6	супесь	0,450	5,0
7	суглинок лёгкий	0,200	4,6
8	суглинок тяжёлый	0,015	5,6
9	глина	0,036	6,0
10	песок	1,100	4,7
11	супесь	0,600	5,7
12	суглинок лёгкий	0,200	4,0
13	суглинок тяжёлый	0,015	3,3
14	глина	0,036	5,0
15	песок	1,100	4,6
16	супесь	0,600	5,6
17	суглинок лёгкий	0,200	6,0
18	суглинок тяжёлый	0,015	4,7
19	глина	0,036	3,7
20	песок	1,100	5,2
21	супесь	0,600	4,6
22	суглинок лёгкий	0,200	6,6
23	суглинок тяжёлый	0,015	6,0
24	глина	0,036	4,7
25	песок	1,100	3,7
26	супесь	0,600	5,2
27	суглинок лёгкий	0,200	5,0
28	суглинок тяжёлый	0,015	6,3
29	глина	0,036	5,0
30	песок	1,100	4,6
31	супесь	0,600	6,6
32	суглинок лёгкий	0,200	6,0
33	суглинок тяжёлый	0,015	5,7

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛИГОНА	3
2. ПРОЕКТ ОБУСТРОЙСТВА ПОЛИГОНА	7
2.1. Расчёт необходимой площади отвода участка земли при строительстве полигона	6
2.1.1. Организация сбора отходов	6
2.1.2. Расчёт годовой нормы накопления твёрдых бытовых отходов в населённом пункте	7
2.1.3. Определение проектной вместимости полигона	8
2.1.4. Расчёт требуемой площади земельного участка для размещения полигона. Схема полигона.....	10
2.2. Проектирование участка складирования	12
2.2.1. Расчёт вместимости полигона	12
2.2.2. Проектирование кавальеров для складирования плодородного и минерального грунтов	16
2.3. Прогноз техногенного влияния полигона на компоненты природной среды	18
2.4. Защитные экраны полигонов	20
2.4.1. Общие положения	20
2.4.2. Природные геохимические барьеры	21
2.4.3. Противофильтрационные экраны в основании полигона, выполняемые в виде глиняного замка	21
2.4.4. Противофильтрационные экраны в основании полигона из геосинтетических материалов.....	22
2.5. Устройство противофильтрационных экранов полигона	24
2.6. Внутренний дренаж и система удаления фильтрата.....	24
2.6.1. Общие положения по проектированию дренажа.....	24
2.6.2. Определение объёма фильтрата, удаляемого из свалочного тела в период эксплуатации полигона.....	27
2.7. Проектирование системы дегазации полигона	29
2.8. Проектирование нагорных каналов.....	31
3. АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЗОНА И ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	32
4. САНИТАРНО-ЗАЩИТНАЯ ЗОНА И СИСТЕМА МОНИТОРИНГА	33
4.1. Санитарно-защитная зона.....	33
4.2. Система мониторинга	34
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНА.....	37
6. ЗАКРЫТИЕ ПОЛИГОНА И ПЕРЕДАЧА УЧАСТКА НА ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.....	40
6.1. Технический этап рекультивации.....	41
6.2. Биологический этап рекультивации	42
7. Заключение.....	43
Библиографический список	43
Приложения.....	44