

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).  
Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.  
Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1 Секция 1 МИФИ Москворечье типовой этаж

Вариант: Удаление дыма из вестибюлей, холлов, коридоров, торговых моллов,  
атриумов и т.п., смежных с горящим помещением

Тип здания: Жилое

Площадь пола,  $F_f$ : 20 м<sup>2</sup>

Минимальная ширина,  $b$ : 4 м

Высота помещения,  $h$ : 2,84 м

Размеры проемов,  $B_i \times H_i$ :

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 360$  кг     $Q_{нд} = 14,4$  МДж/кг     $\Psi_i = 0,0135$  кг/м<sup>2</sup>/с

Температура воздуха в помещении,  $t_r$ : 20 °С

Теплота сгорания дерева,  $Q_{нд}$ : 13,8 МДж/кг (константа)

Коэффициент,  $K_{sm}$ : 1

Длина коридора,  $l_c$ : 17,81 м

Площадь коридора,  $A_c$ : 31,7 м<sup>2</sup>

Площадь двери при выходе из коридора,  $A_d$ : 2,4 м<sup>2</sup>

Высота двери,  $H_d$ : 2 м

Высота потолка коридора,  $h_k$ : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны,  $H_{нз}$ : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя,  $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$ : 1,54 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа,  $h_1$ : 2,2 м

Температура наружного воздуха,  $t_n$ : 23 °С

Скорость ветра,  $V_B$ : 2 м/с

**Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)**

**Участок 1:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ ,  $Z_{ВВ} = 1$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 2:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 3:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 4:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 5:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 6:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 7:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 8:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 9:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 10:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 11:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 12:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 13:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 14:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 15:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{\text{вв}} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{вв}} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{\text{ш}} = 0,3$ , Бетон

Участок 16:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 17:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 18:

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,72 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 5 \text{ м}, \quad Z_{ВВ} = 2,5, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 0,2 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов,  $R_d$ : 332 Па

Скорость истечения продуктов горения из выбросного устройства,  $v_f$ : 10 м/с

## РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 2,84 = 56,8 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 56,8^{2/3} = 88,65 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

$$A_0 = \sum A_i = \sum (B_i \cdot H_i) = 4,05 \text{ м}^2$$

Проемность помещения (объем < 1000 м<sup>3</sup>)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3587 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 360 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5184 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нсп} = Q_n / \sum m_i = 5184 / 360 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

$$V_0 = 0,263 \cdot Q_{нсп} = 0,263 \cdot 14,4 = 3,78 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Температура воздуха в помещении

$$T_r = t_a + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ К}$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_H / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5184 / (13,8 \cdot 20) = 18,78 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_H / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5184 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,43 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{кр} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,35^3 / (1 + 500 \cdot 0,35^3) + 56,8^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,79 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической  
=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0max} = T_r + 224 \cdot g_k^{0,528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,43^{0,528} = 785 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0max} = 0,8 \cdot 785 = 628 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{sm} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (628 - 293) \cdot (2 \cdot 1,54 + 31,7 / 17,81) / 17,81 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 17,81 / (2 \cdot 1,54 + 31,7 / 17,81))) = 391 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$G_{пг} = k_{sm} \cdot A_d \cdot H_d^{1/2} = 1 \cdot 2,4 \cdot 2^{1/2} = 3,39 \text{ кг/с}$$

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{пг} = 353 / T_{sm} = 353 / 391 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{пг} = G_{пг} / \rho_{пг} \cdot 3600 = 3,39 / 0,90 \cdot 3600 = 13542 \text{ м}^3/\text{час}$$

Температура наружного воздуха

$$T_H = t_H + 273 = 296 \text{ К}$$

Температура внутреннего воздуха до начала пожара

$$T_B = T_r = 293 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_H = 353 / T_H = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Плотность внутреннего воздуха до начала пожара

$$\rho_B = 353 / T_B = 1,20 \text{ кг/м}^3$$

Температура приточного воздуха

$$T_{п} = (T_H + T_B) / 2 = 294,5 \text{ К}$$

Плотность приточного воздуха

$$\rho_{п} = 353 / T_{п} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,11 \cdot 0,90) = 32,99 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,57 + 2,7) \cdot 32,99^2 \cdot 0,90 = 1606,3 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,03 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,29 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,03 + -1,29) / 2 = 0,36 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 2,03 - 1606,3 - 128,01 = -1732,28 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -1732,28)^{0,65} = 0,000777 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -1732,28)^{0,65} = 0,008758 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,008758 + 0,000777 + 0 = 0,009536 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,009536 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,009536 = 3,4036 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_a + T_{см} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,009536 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,009536) = 390,96 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 390,96 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((390,96 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,96 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,40 / (0,90 \cdot 0,22) = 16,75 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

Потери давления трения горизонтального участка

$$\Delta P_{вв} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 16,75^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,47 + 1) = 128,01 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 16,75 \cdot 0,47 / (23,67 \cdot 10^{-6}) = 335171$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,40 / (0,90 \cdot 0,28) = 13,36 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,36^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 35,09 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 13,36 \cdot 0,52 / (23,67 \cdot 10^{-6}) = 297582$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,21 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,12 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,21 + -1,12) / 2 = 0,54 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1732,28 - 35,09 = -1767,37 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((0,54 - -1767,37) / 11000)} = 0,045702 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -1767,37)^{0,65} = 0,000787 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -1767,37)^{0,65} = 0,008874 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,008874 + 0,000787 + 0,045702 = 0,055364 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{ф} = 0,064901 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,064901 = 3,4590 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_{а} + T_{см} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,064901 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,064901) = 389,39 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 389,39 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((389,39 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (389,39 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,45 / (0,90 \cdot 0,28) = 13,53 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,53^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 36,09 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,53 \cdot 0,52 / (23,49 \cdot 10^{-6}) = 303500$$

**Участок 3:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,39 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,94 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,39 + -0,94) / 2 = 0,72 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1767,37 - 36,09 = -1803,46 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((0,72 - -1803,46) / 11000)} = 0,046168 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -1803,46)^{0,65} = 0,000798 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -1803,46)^{0,65} = 0,008992 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,008992 + 0,000798 + 0,046168 = 0,055959 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,120861 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,120861 = 3,5149 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,120861 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,120861) = 387,85 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 387,85 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((387,85 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (387,85 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,51 / (0,91 \cdot 0,28) = 13,69 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 13,69^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 37,11 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,69 \cdot 0,52 / (23,32 \cdot 10^{-6}) = 309495$$

**Участок 4:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,57 \text{ Па}$$



**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_n - \rho_n) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,76 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,57 + -0,76) / 2 = 0,90 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1803,46 - 37,11 = -1840,58 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_B - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((0,90 - -1840,58) / 11000)} = 0,046643 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -1840,58)^{0,65} = 0,000809 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -1840,58)^{0,65} = 0,009112 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009112 + 0,000809 + 0,046643 = 0,056565 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,177426 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,177426 = 3,5715 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,177426 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,177426) = 386,35 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 386,35 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((386,35 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (386,35 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,57 / (0,91 \cdot 0,28) = 13,86 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,91 \cdot 13,86^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 38,16 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,86 \cdot 0,52 / (23,15 \cdot 10^{-6}) = 315566$$

**Участок 5:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{H1} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_n - \rho_n) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,75 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_n - \rho_n) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,58 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,75 + -0,58) / 2 = 1,08 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1840,58 - 38,16 = -1878,75 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,08 - -1878,75) / 11000)} = 0,047126 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -1878,75)^{0,65} = 0,000819 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -1878,75)^{0,65} = 0,009235 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009235 + 0,000819 + 0,047126 = 0,057182 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,234609 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,234609 = 3,6287 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,234609 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,234609) = 384,88 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 384,88 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((384,88 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (384,88 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,62 / (0,91 \cdot 0,28) = 14,03 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,91 \cdot 14,03^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 39,24 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,03 \cdot 0,52 / (22,98 \cdot 10^{-6}) = 321716$$

**Участок 6:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{б}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,93 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{б}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,40 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,93 + -0,40) / 2 = 1,26 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1878,75 - 39,24 = -1918 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,26 - -1918) / 11000)} = 0,047618 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -1918)^{0,65} = 0,000831 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -1918)^{0,65} = 0,009361 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009361 + 0,000831 + 0,047618 = 0,057810 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,292419 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,292419 = 3,6865 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,292419 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,292419) = 383,44 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 383,44 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((383,44 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (383,44 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,68 / (0,92 \cdot 0,28) = 14,20 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,92 \cdot 14,20^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 40,35 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,20 \cdot 0,52 / (22,82 \cdot 10^{-6}) = 327946$$

**Участок 7:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,11 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,22 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,11 + -0,22) / 2 = 1,44 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -1918 - 40,35 = -1958,35 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,44 - -1958,35) / 11000)} = 0,048118 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -1958,35)^{0,65} = 0,000842 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -1958,35)^{0,65} = 0,009489 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009489 + 0,000842 + 0,048118 = 0,058450 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,350870 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,350870 = 3,7449 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,350870 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,350870) = 382,03 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 382,03 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((382,03 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (382,03 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,74 / (0,92 \cdot 0,28) = 14,37 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,92 \cdot 14,37^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 41,48 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 14,37 \cdot 0,52 / (22,66 \cdot 10^{-6}) = 334256$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_n - \rho_p) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,29 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_n - \rho_p) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,04 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (3,29 + -0,04) / 2 = 1,62 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1958,35 - 41,48 = -1999,83 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,62 - -1999,83) / 11000)} = 0,048627 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1999,83)^{0,65} = 0,000854 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1999,83)^{0,65} = 0,009619 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,009619 + 0,000854 + 0,048627 = 0,059101 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,409971 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,409971 = 3,8040 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,409971 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,409971) = 380,65 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 380,65 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((380,65 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (380,65 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,80 / (0,92 \cdot 0,28) = 14,54 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,92 \cdot 14,54^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 42,63 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,54 \cdot 0,52 / (22,50 \cdot 10^{-6}) = 340648$$

**Участок 9:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,46 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,13 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,46 + 0,13) / 2 = 1,79 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1999,83 - 42,63 = -2042,47 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,79 - -2042,47) / 11000)} = 0,049144 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -2042,47)^{0,65} = 0,000865 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -2042,47)^{0,65} = 0,009753 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009753 + 0,000865 + 0,049144 = 0,059763 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,469735 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,469735 = 3,8638 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{К} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,469735 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,469735) = 379,29 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{К} = 353 / 379,29 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((379,29 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (379,29 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,86 / (0,93 \cdot 0,28) = 14,72 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 14,72^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 43,82 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,72 \cdot 0,52 / (22,35 \cdot 10^{-6}) = 347124$$

**Участок 10:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,64 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,30 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,64 + 0,30) / 2 = 1,97 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2042,47 - 43,82 = -2086,3 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,97 - -2086,3) / 11000)} = 0,049670 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -2086,3)^{0,65} = 0,000877 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -2086,3)^{0,65} = 0,009888 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009888 + 0,000877 + 0,049670 = 0,060437 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,530172 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,530172 = 3,9242 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,530172 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,530172) = 377,96 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 377,96 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((377,96 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (377,96 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,92 / (0,93 \cdot 0,28) = 14,90 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 14,90^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 45,04 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,90 \cdot 0,52 / (22,20 \cdot 10^{-6}) = 353684$$

**Участок 11:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,48 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,82 + 0,48) / 2 = 2,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -2086,3 - 45,04 = -2131,35 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,15 - -2131,35) / 11000)} = 0,050205 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{БВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -2131,35)^{0,65} = 0,000890 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -2131,35)^{0,65} = 0,010027 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,010027 + 0,000890 + 0,050205 = 0,061123 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,591296 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,591296 = 3,9854 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_a) = (293 \cdot 0,591296 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,591296) = 376,66 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ K} = 353 / 376,66 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((376,66 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (376,66 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,98 / (0,93 \cdot 0,28) = 15,08 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = 0,5 \cdot 0,93 \cdot 15,08^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 46,29 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 15,08 \cdot 0,52 / (22,05 \cdot 10^{-6}) = 360330$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,00 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,66 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (4,00 + 0,66) / 2 = 2,33 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2131,35 - 46,29 = -2177,64 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,33 - -2177,64) / 11000)} = 0,050749 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -2177,64)^{0,65} = 0,000902 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -2177,64)^{0,65} = 0,010169 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010169 + 0,000902 + 0,050749 = 0,061821 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,653118 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,653118 = 4,0472 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,653118 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,653118) = 375,38 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 375,38 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((375,38 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (375,38 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,04 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,26 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,26^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 47,57 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 15,26 \cdot 0,52 / (21,91 \cdot 10^{-6}) = 367064$$

**Участок 13:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,18 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,84 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,18 + 0,84) / 2 = 2,51 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2177,64 - 47,57 = -2225,22 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,51 - -2225,22) / 11000)} = 0,051302 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -2225,22)^{0,65} = 0,000915 \text{ кг/с}$$



**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -2225,22)^{0,65} = 0,010313 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,010313 + 0,000915 + 0,051302 = 0,062531 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,715650 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,715650 = 4,1097 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,715650 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,715650) = 374,13 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 374,13 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((374,13 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (374,13 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,10 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,44 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,44^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 48,88 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 15,44 \cdot 0,52 / (21,77 \cdot 10^{-6}) = 373886$$

**Участок 14:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,36 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,02 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,36 + 1,02) / 2 = 2,69 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -2225,22 - 48,88 = -2274,1 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,69 - -2274,1) / 11000)} = 0,051864 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -2274,1)^{0,65} = 0,000928 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -2274,1)^{0,65} = 0,010460 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,010460 + 0,000928 + 0,051864 = 0,063253 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,778904 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,778904 = 4,1730 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,778904 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,778904) = 372,90 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 372,90 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((372,90 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (372,90 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,17 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,63 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,63^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 50,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 15,63 \cdot 0,52 / (21,63 \cdot 10^{-6}) = 380798$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,54 + 1,20) / 2 = 2,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2274,1 - 50,22 = -2324,33 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,87 - -2324,33) / 11000)} = 0,052435 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -2324,33)^{0,65} = 0,000942 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -2324,33)^{0,65} = 0,010610 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010610 + 0,000942 + 0,052435 = 0,063987 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,842892 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,842892 = 4,237 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,842892 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,842892) = 371,69 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 371,69 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((371,69 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (371,69 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,23 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,82 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,82^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 51,60 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 15,82 \cdot 0,52 / (21,50 \cdot 10^{-6}) = 387802$$

**Участок 16:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,72 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,38 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,72 + 1,38) / 2 = 3,05 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2324,33 - 51,60 = -2375,94 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((3,05 - -2375,94) / 11000)} = 0,053015 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -2375,94)^{0,65} = 0,000955 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -2375,94)^{0,65} = 0,010763 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010763 + 0,000955 + 0,053015 = 0,064734 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,907626 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,907626 = 4,3017 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,907626 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,907626) = 370,51 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 370,51 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((370,51 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (370,51 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,30 / (0,95 \cdot 0,28) = 16,01 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,95 \cdot 16,01^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 53,02 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 16,01 \cdot 0,52 / (21,37 \cdot 10^{-6}) = 394899$$

Участок 17:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,89 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,56 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,89 + 1,56) / 2 = 3,22 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -2375,94 - 53,02 = -2428,96 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((3,22 - -2428,96) / 11000)} = 0,053605 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -2428,96)^{0,65} = 0,000969 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -2428,96)^{0,65} = 0,010919 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010919 + 0,000969 + 0,053605 = 0,065493 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,973120 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,973120 = 4,3672 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,973120 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,973120) = 369,34 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 369,34 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((369,34 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (369,34 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,36 / (0,95 \cdot 0,28) = 16,20 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,95 \cdot 16,20^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 54,47 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 16,20 \cdot 0,52 / (21,24 \cdot 10^{-6}) = 402090$$

**Участок 18:**

**Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса**

$$P_{нн.в} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{выброс} \cdot (\rho_n - \rho_p) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 53,4 \cdot (1,19 - 1,19) = 5,09 \text{ Па}$$

**Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана**

$$P_{шн} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -2428,96 - 54,47 = -2483,43 \text{ Па}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_v / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 17 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -2483,43)^{0,65} = 0,029334 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_v / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,42 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -2483,43)^{0,65} = 0,000738 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,000738 + 0,029334 + 0 = 0,030072 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 1,003193 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 1,003193 = 4,3973 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_v \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 1,003193 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 1,003193) = 368,82 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения на уровне выброса**

$$\rho_n = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 368,82 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((368,82 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (368,82 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в горизонтальном участке**

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 4,39 / (0,95 \cdot 0,72) = 6,35 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка**

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка**

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

**Потери давления в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора**

$$\Delta P_{сети} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) =$$

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 6,35^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,85 + 2,5) = 50,19 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для горизонтального участка**

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 6,35 \cdot 0,85 / (21,18 \cdot 10^{-6}) = 255161$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,39 / (0,95 \cdot 0,28) = 16,29 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 16,29^2 \cdot (0,02 \cdot 0,2 / 0,52 + 0,3) = 39,24 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 16,29 \cdot 0,52 / (21,18 \cdot 10^{-6}) = 405396$$

**Массовый расход продуктов горения**

$$G_{ш} = 4,3973 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{ш} / \rho_N \cdot 3600 = 4,3973 / 0,9570 \cdot 3600 = 16540 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{шН} + \Delta P_{сети} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 3702,11 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,45 м<sup>2</sup>, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

$$G_{нв} = G_{пг} / (1,3 \div 1,0) = 3,3941 / (1,3 \div 1,0) = (2,6108 \div 3,3941) \text{ кг/с}$$

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

$$L_{нв} = G_{нв} / \rho_n \cdot 3600 = (2,6108 \div 3,3941) / 1,19 \cdot 3600 = (7881 \div 10246) \text{ м}^3/\text{час}$$

KBM

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: КПУ1-Н ВД1 Секция 1 МИФИ Москворечье типовой этаж

Вариант: Удаление дыма из вестибюлей, холлов, коридоров, торговых моллов,  
атриумов и т.п., смежных с горящим помещением

Тип здания: Жилое

Площадь пола,  $F_f$ : 20 м<sup>2</sup>

Минимальная ширина,  $b$ : 4 м

Высота помещения,  $h$ : 2,84 м

Размеры проемов,  $B_i \times H_i$ :

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 360$  кг     $Q_{нд} = 14,4$  МДж/кг     $\Psi_i = 0,0135$  кг/м<sup>2</sup>/с

Температура воздуха в помещении,  $t_r$ : 20 °С

Теплота сгорания дерева,  $Q_{нд}$ : 13,8 МДж/кг (константа)

Коэффициент,  $K_{sm}$ : 1

Длина коридора,  $l_c$ : 17,81 м

Площадь коридора,  $A_c$ : 31,7 м<sup>2</sup>

Площадь двери при выходе из коридора,  $A_d$ : 2,4 м<sup>2</sup>

Высота двери,  $H_d$ : 2 м

Высота потолка коридора,  $h_k$ : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны,  $H_{нз}$ : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя,  $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$ : 1,54 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа,  $h_1$ : 2,2 м

Температура наружного воздуха,  $t_n$ : 23 °С

Скорость ветра,  $V_B$ : 2 м/с

## Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)

### Участок 1:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ ,  $Z_{ВВ} = 1$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 2:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 3:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 4:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 5:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 6:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 7:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок



$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 8:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 9:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 10:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 11:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 12:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 13:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 14:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 15:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 16:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 17:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 18:

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,72 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 5 \text{ м}, \quad Z_{ВВ} = 2,5, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 0,2 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов,  $R_d$ : 332 Па

Скорость истечения продуктов горения из выбросного устройства,  $v_f$ : 10 м/с

## РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 2,84 = 56,8 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 56,8^{2/3} = 88,65 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

$$A_0 = \sum A_i = \sum (B_i \cdot H_i) = 4,05 \text{ м}^2$$

Проемность помещения (объем < 1000 м<sup>3</sup>)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3587 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 360 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5184 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нсп} = Q_n / \sum m_i = 5184 / 360 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

$$V_0 = 0,263 \cdot Q_{нсп} = 0,263 \cdot 14,4 = 3,78 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Температура воздуха в помещении

$$T_r = t_a + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ К}$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_H / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5184 / (13,8 \cdot 20) = 18,78 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_H / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5184 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,43 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{кр} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,35^3 / (1 + 500 \cdot 0,35^3) + 56,8^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,79 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической  
=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0max} = T_r + 224 \cdot g_k^{0,528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,43^{0,528} = 785 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0max} = 0,8 \cdot 785 = 628 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{sm} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (628 - 293) \cdot (2 \cdot 1,54 + 31,7 / 17,81) / 17,81 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 17,81 / (2 \cdot 1,54 + 31,7 / 17,81))) = 391 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$G_{пг} = k_{sm} \cdot A_d \cdot H_d^{1/2} = 1 \cdot 2,4 \cdot 2^{1/2} = 3,39 \text{ кг/с}$$

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{пг} = 353 / T_{sm} = 353 / 391 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{пг} = G_{пг} / \rho_{пг} \cdot 3600 = 3,39 / 0,90 \cdot 3600 = 13542 \text{ м}^3/\text{час}$$

Температура наружного воздуха

$$T_H = t_H + 273 = 296 \text{ К}$$

Температура внутреннего воздуха до начала пожара

$$T_B = T_r = 293 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_H = 353 / T_H = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Плотность внутреннего воздуха до начала пожара

$$\rho_B = 353 / T_B = 1,20 \text{ кг/м}^3$$

Температура приточного воздуха

$$T_{п} = (T_H + T_B) / 2 = 294,5 \text{ К}$$

Плотность приточного воздуха

$$\rho_{п} = 353 / T_{п} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,16 \cdot 0,90) = 22,93 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,38 + 2,7) \cdot 22,93^2 \cdot 0,90 = 731,05 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,03 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,29 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,03 + -1,29) / 2 = 0,36 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 2,03 - 731,05 - 127,78 = -856,80 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -856,80)^{0,65} = 0,000492 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -856,80)^{0,65} = 0,005543 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,005543 + 0,000492 + 0 = 0,006035 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,006035 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,006035 = 3,4001 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_a + T_{см} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,006035 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,006035) = 391,06 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 391,06 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((391,06 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (391,06 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,68 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,40 / (0,90 \cdot 0,22) = 16,74 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

Потери давления трения горизонтального участка

$$\Delta P_{вв} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 16,74^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,47 + 1) = 127,78 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 16,74 \cdot 0,47 / (23,68 \cdot 10^{-6}) = 334750$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,40 / (0,90 \cdot 0,28) = 13,35 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,35^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 35,03 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,35 \cdot 0,52 / (23,68 \cdot 10^{-6}) = 297208$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,21 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,12 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,21 + -1,12) / 2 = 0,54 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -856,80 - 35,03 = -891,83 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((0,54 - -891,83) / 11000)} = 0,046711 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -891,83)^{0,65} = 0,000505 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -891,83)^{0,65} = 0,005690 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005690 + 0,000505 + 0,046711 = 0,052907 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,058942 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,058942 = 3,4530 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,058942 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,058942) = 389,56 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 389,56 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((389,56 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (389,56 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,51 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,45 / (0,90 \cdot 0,28) = 13,51 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,51^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 35,98 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,51 \cdot 0,52 / (23,51 \cdot 10^{-6}) = 302863$$

**Участок 3:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,39 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,94 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,39 + -0,94) / 2 = 0,72 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -891,83 - 35,98 = -927,82 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((0,72 - -927,82) / 11000)} = 0,047648 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -927,82)^{0,65} = 0,000518 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -927,82)^{0,65} = 0,005839 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005839 + 0,000518 + 0,047648 = 0,054006 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,112949 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,112949 = 3,5070 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,112949 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,112949) = 388,07 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 388,07 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((388,07 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (388,07 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,50 / (0,90 \cdot 0,28) = 13,67 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,67^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 36,97 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,67 \cdot 0,52 / (23,34 \cdot 10^{-6}) = 308647$$

**Участок 4:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,57 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,76 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,57 + -0,76) / 2 = 0,90 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -927,82 - 36,97 = -964,79 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_B - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((0,90 - -964,79) / 11000)} = 0,048592 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -964,79)^{0,65} = 0,000531 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -964,79)^{0,65} = 0,005990 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005990 + 0,000531 + 0,048592 = 0,055114 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,168063 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,168063 = 3,5621 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,168063 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,168063) = 386,60 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 386,60 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((386,60 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (386,60 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,56 / (0,91 \cdot 0,28) = 13,83 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,91 \cdot 13,83^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 37,99 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,83 \cdot 0,52 / (23,18 \cdot 10^{-6}) = 314561$$

**Участок 5:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{H1} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_H - \rho_H) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,75 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,58 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,75 + -0,58) / 2 = 1,08 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -964,79 - 37,99 = -1002,79 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,08 - -1002,79) / 11000)} = 0,049543 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -1002,79)^{0,65} = 0,000545 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -1002,79)^{0,65} = 0,006143 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,006143 + 0,000545 + 0,049543 = 0,056232 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,224295 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,224295 = 3,6184 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,224295 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,224295) = 385,14 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 385,14 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((385,14 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (385,14 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,61 / (0,91 \cdot 0,28) = 13,99 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,91 \cdot 13,99^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 39,05 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 13,99 \cdot 0,52 / (23,01 \cdot 10^{-6}) = 320606$$

**Участок 6:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_n - \rho_p) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,93 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_n - \rho_p) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,40 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,93 + -0,40) / 2 = 1,26 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1002,79 - 39,05 = -1041,84 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,26 - -1041,84) / 11000)} = 0,050502 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -1041,84)^{0,65} = 0,000559 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$



$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -1041,84)^{0,65} = 0,006298 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006298 + 0,000559 + 0,050502 = 0,057359 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,281655 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,281655 = 3,6757 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,281655 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,281655) = 383,71 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 383,71 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((383,71 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (383,71 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,91 \cdot 0,28) = 14,16 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 14,16^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 40,14 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,16 \cdot 0,52 / (22,85 \cdot 10^{-6}) = 326785$$

**Участок 7:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,11 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,22 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,11 + -0,22) / 2 = 1,44 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -1041,84 - 40,14 = -1081,99 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,44 - -1081,99) / 11000)} = 0,051469 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -1081,99)^{0,65} = 0,000573 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -1081,99)^{0,65} = 0,006455 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006455 + 0,000573 + 0,051469 = 0,058497 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,340153 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,340153 = 3,7342 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,340153 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,340153) = 382,28 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 382,28 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((382,28 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (382,28 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,73 / (0,92 \cdot 0,28) = 14,34 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,92 \cdot 14,34^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 41,27 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 14,34 \cdot 0,52 / (22,69 \cdot 10^{-6}) = 333098$$

**Участок 8:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,29 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,04 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (3,29 + -0,04) / 2 = 1,62 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1081,99 - 41,27 = -1123,26 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,62 - -1123,26) / 11000)} = 0,052444 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1123,26)^{0,65} = 0,000587 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1123,26)^{0,65} = 0,006614 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,006614 + 0,000587 + 0,052444 = 0,059646 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,399799 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,399799 = 3,7939 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,399799 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,399799) = 380,88 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 380,88 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((380,88 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (380,88 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,79 / (0,92 \cdot 0,28) = 14,51 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,92 \cdot 14,51^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 42,44 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,51 \cdot 0,52 / (22,53 \cdot 10^{-6}) = 339547$$

**Участок 9:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,46 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,13 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,46 + 0,13) / 2 = 1,79 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1123,26 - 42,44 = -1165,7 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,79 - -1165,7) / 11000)} = 0,053428 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -1165,7)^{0,65} = 0,000601 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -1165,7)^{0,65} = 0,006776 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006776 + 0,000601 + 0,053428 = 0,060807 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,460606 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,460606 = 3,8547 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{К} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,460606 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,460606) = 379,49 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{К} = 353 / 379,49 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((379,49 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (379,49 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,85 / (0,93 \cdot 0,28) = 14,69 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 14,69^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 43,64 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,69 \cdot 0,52 / (22,37 \cdot 10^{-6}) = 346134$$

**Участок 10:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,64 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,30 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,64 + 0,30) / 2 = 1,97 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1165,7 - 43,64 = -1209,35 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,97 - -1209,35) / 11000)} = 0,054422 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -1209,35)^{0,65} = 0,000616 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -1209,35)^{0,65} = 0,006940 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006940 + 0,000616 + 0,054422 = 0,061979 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,522586 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,522586 = 3,9167 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,522586 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,522586) = 378,13 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 378,13 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((378,13 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (378,13 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,22 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,91 / (0,93 \cdot 0,28) = 14,87 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 14,87^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 44,89 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,87 \cdot 0,52 / (22,22 \cdot 10^{-6}) = 352860$$

**Участок 11:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,48 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,82 + 0,48) / 2 = 2,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -1209,35 - 44,89 = -1254,24 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,15 - -1254,24) / 11000)} = 0,055425 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{БВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -1254,24)^{0,65} = 0,000631 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -1254,24)^{0,65} = 0,007107 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,007107 + 0,000631 + 0,055425 = 0,063164 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,585750 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,585750 = 3,9798 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_a) = (293 \cdot 0,585750 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,585750) = 376,77 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ K} = 353 / 376,77 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((376,77 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (376,77 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,97 / (0,93 \cdot 0,28) = 15,06 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = 0,5 \cdot 0,93 \cdot 15,06^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 46,17 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 15,06 \cdot 0,52 / (22,07 \cdot 10^{-6}) = 359726$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,00 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,66 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (4,00 + 0,66) / 2 = 2,33 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1254,24 - 46,17 = -1300,42 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,33 - -1300,42) / 11000)} = 0,056438 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -1300,42)^{0,65} = 0,000646 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -1300,42)^{0,65} = 0,007276 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,007276 + 0,000646 + 0,056438 = 0,064361 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,650112 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,650112 = 4,0442 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,650112 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,650112) = 375,44 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 375,44 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((375,44 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (375,44 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,92 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,04 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,25 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,25^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 47,51 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 15,25 \cdot 0,52 / (21,92 \cdot 10^{-6}) = 366736$$

**Участок 13:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,18 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,84 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,18 + 0,84) / 2 = 2,51 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1300,42 - 47,51 = -1347,93 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,51 - -1347,93) / 11000)} = 0,057462 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -1347,93)^{0,65} = 0,000661 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -1347,93)^{0,65} = 0,007449 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,007449 + 0,000661 + 0,057462 = 0,065573 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,715685 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,715685 = 4,1098 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,715685 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,715685) = 374,13 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 374,13 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((374,13 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (374,13 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,10 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,44 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,44^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 48,88 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 15,44 \cdot 0,52 / (21,77 \cdot 10^{-6}) = 373890$$

**Участок 14:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,36 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,02 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,36 + 1,02) / 2 = 2,69 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1347,93 - 48,88 = -1396,81 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,69 - -1396,81) / 11000)} = 0,058497 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -1396,81)^{0,65} = 0,000676 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -1396,81)^{0,65} = 0,007623 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,007623 + 0,000676 + 0,058497 = 0,066797 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,782483 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,782483 = 4,1766 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,782483 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,782483) = 372,83 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 372,83 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((372,83 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (372,83 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,17 / (0,94 \cdot 0,28) = 15,64 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,94 \cdot 15,64^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 50,30 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 15,64 \cdot 0,52 / (21,63 \cdot 10^{-6}) = 381190$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,54 + 1,20) / 2 = 2,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1396,81 - 50,30 = -1447,12 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,87 - -1447,12) / 11000)} = 0,059542 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -1447,12)^{0,65} = 0,000692 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -1447,12)^{0,65} = 0,007801 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,007801 + 0,000692 + 0,059542 = 0,068037 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,850520 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,850520 = 4,2446 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,850520 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,850520) = 371,55 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 371,55 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$



**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((371,55 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (371,55 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,24 / (0,95 \cdot 0,28) = 15,84 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 15,84^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 51,77 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 15,84 \cdot 0,52 / (21,48 \cdot 10^{-6}) = 388638$$

**Участок 16:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,72 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,38 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,72 + 1,38) / 2 = 3,05 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1447,12 - 51,77 = -1498,9 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((3,05 - -1498,9) / 11000)} = 0,060600 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -1498,9)^{0,65} = 0,000708 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -1498,9)^{0,65} = 0,007982 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,007982 + 0,000708 + 0,060600 = 0,069291 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,919811 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,919811 = 4,3139 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,919811 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,919811) = 370,29 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 370,29 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((370,29 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (370,29 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,31 / (0,95 \cdot 0,28) = 16,04 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 16,04^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 53,28 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 16,04 \cdot 0,52 / (21,34 \cdot 10^{-6}) = 396236$$

Участок 17:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,89 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,56 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,89 + 1,56) / 2 = 3,22 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(\text{i}-1)} - \Delta P_{\text{ш}(\text{i}-1)} = -1498,9 - 53,28 = -1552,18 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((3,22 - -1552,18) / 11000)} = 0,061669 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -1552,18)^{0,65} = 0,000724 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -1552,18)^{0,65} = 0,008165 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,008165 + 0,000724 + 0,061669 = 0,070560 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,990371 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,990371 = 4,3844 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,990371 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,990371) = 369,04 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 369,04 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((369,04 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (369,04 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,38 / (0,95 \cdot 0,28) = 16,25 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 16,25^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 54,85 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 16,25 \cdot 0,52 / (21,20 \cdot 10^{-6}) = 403986$$

**Участок 18:**

**Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса**

$$P_{нн.в} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{выброс} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 53,4 \cdot (1,19 - 1,19) = 5,09 \text{ Па}$$

**Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана**

$$P_{шн} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1552,18 - 54,85 = -1607,04 \text{ Па}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_v / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 17 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -1607,04)^{0,65} = 0,022116 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_v / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,42 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -1607,04)^{0,65} = 0,000556 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,000556 + 0,022116 + 0 = 0,022673 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 1,013045 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 1,013045 = 4,4071 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_v \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 1,013045 + 391,23 \cdot 3,39) / (3,39 + 1,013045) = 368,65 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения на уровне выброса**

$$\rho_n = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 368,65 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((368,65 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (368,65 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в горизонтальном участке**

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 4,40 / (0,95 \cdot 0,72) = 6,37 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка**

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка**

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

**Потери давления в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора**

$$\Delta P_{сети} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) = \\ 0,5 \cdot 0,95 \cdot 6,37^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,85 + 2,5) = 50,39 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для горизонтального участка**

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 6,37 \cdot 0,85 / (21,16 \cdot 10^{-6}) = 255843$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,40 / (0,95 \cdot 0,28) = 16,32 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,95 \cdot 16,32^2 \cdot (0,02 \cdot 0,2 / 0,52 + 0,3) = 39,40 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 16,32 \cdot 0,52 / (21,16 \cdot 10^{-6}) = 406479$$

**Массовый расход продуктов горения**

$$G_{ш} = 4,4071 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{ш} / \rho_n \cdot 3600 = 4,4071 / 0,9575 \cdot 3600 = 16569 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{шн} + \Delta P_{сети} + P_d + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v_f^2) / \rho_n = 2602,58 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,46 м<sup>2</sup>, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

$$G_{нв} = G_{пг} / (1,3 \div 1,0) = 3,3941 / (1,3 \div 1,0) = (2,6108 \div 3,3941) \text{ кг/с}$$

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

$$L_{нв} = G_{нв} / \rho_n \cdot 3600 = (2,6108 \div 3,3941) / 1,19 \cdot 3600 = (7881 \div 10246) \text{ м}^3/\text{час}$$

KBM

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП1 Лестница Н2 Секция 1 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в лестничную клетку надземной части

#### Условия:

Лестничная клетка примыкает к наружной стене с окнами на каждом этаже.

Лестничная клетка с обособленным наружным выходом.

Первый этаж не сообщается с лестничной клеткой, либо сообщается через тамбур-шлюзы, защищённые ППДВ.

Позэтажные выходы в лестничную клетку через тамбур-шлюзы, защищённые ППДВ.

#### Характеристики здания

Число этажей:  $N_{нэ} = 18$

Отметка уровня второго этажа:  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота этажей (второго и выше):  $\Delta h_{нэ} = 3,00$  м

#### Параметры воздуха

Массовый расход удаляемых продуктов горения:  $G_{sm} = 3,39$  кг/с

Температура внутреннего воздуха:  $t_r = 16,00$  °C

Температура наружного воздуха:  $t_a = -25,00$  °C

Скорость ветра:  $v_a = 2,00$  м/с

#### Коэффициенты ветрового напора

Наветренная сторона:  $K_{ww} = 0,80$

Заветренная сторона:  $K_{w0} = -0,60$

#### Лестничная клетка

Без рассечек

Площадь горизонтальной проекции маршей и площадок:  $F_s = 14,30$  м<sup>2</sup>

Коэффициент местного сопротивления маршей:  $\xi_s = 60,00$

#### Наружный выход лестничной клетки

Площадь двери наружного выхода:  $F_{da} = 2,20$  м<sup>2</sup>

Высота двери наружного выхода:  $h_{da} = 2,00$  м

Количество последовательно расположенных дверей наружного выхода:  $n = 2$

КМС проема дверей наружного выхода:  $\xi_d = 2,44$

КМС тамбура наружного выхода (Z-образный):  $\xi_r = 2,90$

## Позажаные выходы на лестничную клетку

Площадь каждой двери:  $F_d = 2,00 \text{ м}^2$

Высота каждой двери:  $h_d = 2,00 \text{ м}$

Тип двери: **дымогазонепроницаемая**

Сопротивление воздухопроницанию закрытой двери

принято как для дымогазонепроницаемой двери:  $S_d = 60000 / \rho_s = 45662,90 \text{ м}^3/\text{кг}$

## Оконные проёмы лестничной клетки

Нормируемая воздухопроницаемость проёмов:  $G_H = 5,00 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

Площадь проёма на каждом этаже:  $F_w = 1,80 \text{ м}^2$

## Система приточной противодымной вентиляции

Разность уровней воздухоприёмного устройства и верхнего оголовка ЛК:  $h_{oi} = 1,50 \text{ м}$

Потери давления в сети до верхнего оголовка ЛК:  $P_{ds} = 115,00 \text{ Па}$

## РАСЧЕТ

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ К}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 289,15 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Плотность воздуха в помещении

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,22 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Средняя температура воздуха в лестничной клетке

$$t_s = (t_a + t_r) / 2 = -4,50 \text{ °С}$$

$$T_s = t_s + 273,15 = 268,65 \text{ К}$$

Плотность воздуха в лестничной клетке

$$\rho_s = 353 / T_s = 1,31 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Ветровой напор в лестничной клетке

$$P_{wind} = 0,25 \cdot (K_{ww} - K_{w0}) \cdot \rho_a \cdot v_a^2 = 1,99 \text{ Па}$$

**Нормированное сопротивление воздухопроницанию оконных проемов согласно СНиП II 3-79**

Расчетная высота здания до уровня перекрытия верхнего этажа

$$H_{зд} = h_{(2)} + \Delta h_{нэ} \cdot (N_{нэ} - 1) = 55,60 \text{ м}$$

Удельный вес наружного воздуха

$$\gamma_a = 3463 / T_a = 13,96 \text{ Н}/\text{м}^3$$

Удельный вес внутреннего воздуха

$$\gamma_r = 3463 / T_r = 11,98 \text{ Н}/\text{м}^3$$

Нормированная разность давлений воздуха

$$\Delta p = 0,55 \cdot H_{зд} \cdot (\gamma_a - \gamma_r) + 0,03 \cdot \gamma_r \cdot v_a^2 = 61,95 \text{ Па}$$

Нормированное сопротивление воздухопроницанию

$$R_n = (1 / G_H) \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3} = 0,67 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}, \text{ где } \Delta p_0 = 10 \text{ Па}$$

Давление на уровне двери ЛК 2-го этажа

$$P_{s(2)} = 20 + P_{wind} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_s - \rho_r) = 16,87 \text{ Па}$$

Расход воздуха через наружный выход лестничной клетки

$$G_{sa} = \{2 \cdot \rho_s \cdot [20 + P_{wind} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_s - \rho_r) + 0,5 \cdot g \cdot h_{da} \cdot (\rho_a - \rho_s)] / [(n \cdot \xi_d + \xi_r + 1) / F_{da}^2 + \xi_s / F_s^2]\}^{1/2} = 4,73 \text{ кг/с}$$

**Расчётные зависимости давления и расхода воздуха на вышележащих этажах**

Давление воздуха в лестничной клетке, Па

$$P_{s(i+1)} = P_{s(i)} + 0,5 \cdot \xi_s \cdot \rho_s \cdot v_{s(i)}^2$$

Утечки через неплотности дверных проёмов

$$\Delta G_{sd(i+1)} = F_{d(i+1)} / S_d^{1/2} \cdot [P_{s(i+1)} + g \cdot (h_{(i+1)} + 0,5 \cdot h_{d(i+1)}) \cdot (\rho_s - \rho_r) - P_{wind}]^{1/2}$$

Утечки через неплотности оконных проёмов

$$\Delta G_{sw(i+1)} = (F_w / R_n / 3600) \cdot \{[P_{s(i+1)} + g \cdot (h_{(i+1)} + 0,5 \cdot h_{d(i+1)}) \cdot (\rho_s - \rho_r)] / 10\}^{2/3}$$

Расход воздуха в лестничной клетке, кг/с

$$G_{s(i+1)} = G_{s(i)} + \Delta G_{s(i+1)}$$

Скорость воздуха в лестничной клетке, м/с

$$v_{s(i)} = G_{s(i)} / (\rho_s \cdot F_s)$$

Объёмный расход вентилятора, м<sup>3</sup>/ч

$$L_v = 3600 \cdot \Sigma G_s / \rho_a$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям, Па

$$P_{sv} = 1,2 \cdot [P_s + g \cdot h_{sN} \cdot (\rho_a - \rho_s) + g \cdot h_{ol} \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_{ds}] / \rho_a$$

**Таблица 1. Давление и расходы воздуха по этажам**

Этаж	P, Па	$\Delta G_{двери}$	$\Delta G_{окна}$	G, кг/с	L <sub>v</sub> , м <sup>3</sup> /ч	P <sub>sv</sub> , Па
18	67,32	0,10	0,02	6,13	15524	209
17	63,28	0,10	0,02	6,02		
16	59,39	0,09	0,02	5,90		
15	55,64	0,09	0,02	5,79		
14	52,03	0,09	0,01	5,69		
13	48,55	0,08	0,01	5,58		
12	45,19	0,08	0,01	5,48		
11	41,95	0,08	0,01	5,39		
10	38,81	0,07	0,01	5,30		
9	35,78	0,07	0,01	5,21		
8	32,85	0,07	0,01	5,13		

7	30,00	0,06	0,01	5,05		
6	27,23	0,06	0,01	4,98		
5	24,54	0,06	0,01	4,91		
4	21,93	0,05	0,01	4,84		
3	19,37	0,05	0,01	4,78		
2	16,87			4,73		
1				4,73		

KBV



Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ППЗо, ППЗз Зона безопасности МГН Секция 1 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в помещения зон безопасности

#### Характеристики здания

Число надземных этажей:  $N_{НЭ} = 17$

Число подземных этажей:  $N_{ПЭ} = 0$

Высота второго надземного этажа (от пола 1-го до пола 2-го):  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота вышележащих этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{НЭ} = 3,00$  м

Высота подземных этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{ПЭ} = 0,00$  м

#### Параметры воздуха

Температура наружного воздуха (без подогрева):  $t_a = -25,00$  °C

Температура воздуха в прилегающих помещениях (ЛШ, ЛК):  $t_{sl} = 16,00$  °C

Температура воздуха в защищаемых помещениях (с подогревом):  $t_r = 18,00$  °C

#### Параметры защищаемого помещения

на время эвакуации (одна открытая дверь, без подогрева)

Скорость воздуха через одну открытую дверь:  $v_r = 1,50$  м/с

Площадь двери:  $F_d = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота двери:  $h_d = 2,00$  м

#### Система приточной противодымной вентиляции

на время эвакуации (одна открытая дверь, без подогрева)

Уровень воздухоприёмного устройства отн. перекрытия верхнего этажа:  $h_0 = 1,00$  м

Потери давления в сети воздуховодов (для верхнего этажа):  $P_d = 1240,00$  Па

Удельные потери давления воздуховодов вертикального участка:  $P_h = 2,00$  Па/м

#### Параметры защищаемого помещения

на время пребывания в помещении (закрытые двери, с подогревом)

Количество дверей Д1:  $n_d = 2$

Площадь каждой двери Д1:  $F_d = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота каждой двери Д1:  $h_d = 2,00$  м

#### Система приточной противодымной вентиляции

на время пребывания в помещении (закрытые двери, с подогревом)

Уровень воздухоприёмного устройства отн. перекрытия верхнего этажа:  $h_0 = 2,00$  м

Потери давления в сети воздуховодов (для верхнего этажа):  $P_d = 140,00$  Па

Удельные потери давления воздуховодов вертикального участка:  $P_h = 0,60 \text{ Па/м}$

## РАСЧЕТ

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ К}$$

$$T_{sl} = t_{sl} + 273,15 = 289,15 \text{ К}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 291,15 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха (без подогрева)

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в прилегающих помещениях (ЛШ, ЛК)

$$\rho_{sl} = 353 / T_{sl} = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в защищаемых помещениях (с подогревом)

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Характеристика удельного сопротивления воздухопроницанию каждой двери Д1

$$S_d = 5300 / \rho_a = 3725,76 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Расход воздуха, подаваемого во время эвакуации

$$G_{sf \text{ э}} = v_r \cdot \rho_a \cdot F_d = 5,12 \text{ кг/с}$$

Расход воздуха, подаваемого во время пребывания в помещении

$$G_{sf \text{ п}} = n_d \cdot F_d \cdot (20 / S_d)^{1/2} = 0,35 \text{ кг/с}$$

**Расчётные зависимости давления воздуха на этажах**

Давление в защищаемых помещениях надземной части, Па

$$P_{sf(i)} = 20 - g \cdot (h_{(i)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_{sl} - \rho_r)$$

**Система приточной противодымной вентиляции  
на время эвакуации (открытые двери, без подогрева)**

Объёмный расход воздуха

$$L_v = v_r \cdot F_d \cdot 3600 = 12960 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = 1,2 \cdot [P_r + g \cdot h_0 \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_d + h_{нэ} \cdot P_h] / \rho_a = 1147 \text{ Па}$$

Давление, создаваемое вентилятором в помещении верхнего этажа

$$P_{max} = 21 \text{ Па}$$

**Система приточной противодымной вентиляции  
на время пребывания в помещении (закрытые двери, с подогревом)**

Объёмный расход воздуха

$$L_v = 3600 \cdot G_{sf \text{ п}} / \rho_r = 1044 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = 1,2 \cdot [P_r + g \cdot h_0 \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_d + h_{нэ} \cdot P_n] / \rho_r = 188 \text{ Па}$$

Давление, создаваемое вентилятором в помещении верхнего этажа

$$P_{max} = 54 \text{ Па}$$

Таблица 1. Давление в защищаемых помещениях на время эвакуации ( $t_{sf} = t_a$ )

Этаж	$P_{sf}$ , Па	$\Delta P$ , Па	$P_v$ , Па	$P_r$ , Па
17	120,12	1240,00	1145,69	21,05
16	114,19	1246,00	1145,74	20,99
15	108,25	1252,00	1145,80	20,93
14	102,32	1258,00	1145,85	20,86
13	96,38	1264,00	1145,91	20,80
12	90,44	1270,00	1145,96	20,74
11	84,51	1276,00	1146,01	20,67
10	78,57	1282,00	1146,07	20,61
9	72,63	1288,00	1146,12	20,54
8	66,70	1294,00	1146,17	20,48
7	60,76	1300,00	1146,23	20,42
6	54,83	1306,00	1146,28	20,35
5	48,89	1312,00	1146,34	20,29
4	42,95	1318,00	1146,39	20,23
3	37,02	1324,00	1146,44	20,16
2	31,08	1330,00	1146,50	20,10
1	21,98	1339,20	1146,58	20,00

Таблица 2. Давление в защищаемых помещениях на время пребывания ( $t_{sf} = t_r$ )

Этаж	$P_{sf}$ , Па	$\Delta P$ , Па	$P_v$ , Па	$P_r$ , Па
17	15,84	140,00	154,40	53,84
16	16,08	141,80	156,43	51,79
15	16,33	143,60	158,45	49,75
14	16,58	145,40	160,48	47,70
13	16,82	147,20	162,51	45,65
12	17,07	149,00	164,53	43,61
11	17,32	150,80	166,56	41,56
10	17,56	152,60	168,58	39,51
9	17,81	154,40	170,61	37,47
8	18,06	156,20	172,63	35,42
7	18,31	158,00	174,66	33,37
6	18,55	159,80	176,69	31,33
5	18,80	161,60	178,71	29,28
4	19,05	163,40	180,74	27,23
3	19,29	165,20	182,76	25,19
2	19,54	167,00	184,79	23,14
1	19,92	169,76	187,90	20,00

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП5 лифт режим ПО Секция 1 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в лифтовую шахту

#### Условия:

Надземная лифтовая шахта.

Лифтовая шахта центрального ядра надземной части.

Без выгороженного лифтового холла на основном посадочном этаже.

Выгороженные лифтовые холлы на вышележащих надземных этажах.

#### Характеристики здания

Число надземных этажей:  $N_{НЭ} = 17$

Отметка уровня второго этажа (от пола 1-го до пола 2-го):  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота вышележащих этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{НЭ} = 3,00$  м

#### Характеристики лифтовой шахты

Нижний обслуживаемый этаж:  $НЭ_n = 0$

Верхний обслуживаемый этаж:  $НЭ_v = 0$

Площадь дверей лифтовой шахты:  $F_{dl} = 1,68$  м<sup>2</sup>

Площадь дверей лифтовых холлов:  $F_{dr} = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота дверей лифтовой шахты:  $h_{dl} = 2,00$  м

Количество кабин лифтов в шахте:  $n = 1$

Количество дверей каждого лифтового холла:  $m = 2$

Площадь поперечного сечения кабины лифта по внешнему контуру ограждений:  $F_{lc} = 1,86$  м<sup>2</sup>

Площадь поперечного сечения шахты лифта по внутреннему контуру ограждений:  $F_{ls} = 2,98$  м<sup>2</sup>

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтовой шахты:  $S_{dl} = 2500,00$  м<sup>3</sup>/кг

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтового холла:  $S_{dr} = 4600,00$  м<sup>3</sup>/кг

#### Параметры воздуха

Температура наружного воздуха:  $t_a = -25,00$  °C

Температура воздуха в лифтовой шахте:  $t_l = 16,00$  °C

Температура воздуха во внутренних помещениях:  $t_p = 18,00$  °C

#### Система приточной противодымной вентиляции

Разность уровней воздухоприёмного устройства и верхнего оголовка ЛШ:  $h_{os} = 1,50$  м

Потери давления в сети до верхнего оголовка ЛШ:  $P_{dl} = 184,00$  Па

Избыточное давление в надземной части ЛШ:  $P_{20H} = 20,00$  Па

## РАСЧЕТ

КМС узла "кабина-шахта" при открытых дверях

$$\xi_I = 4,3 + F_{lc} / F_{ls} = 4,92$$

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ K}$$

$$T_I = t_I + 273,15 = 289,15 \text{ K}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 291,15 \text{ K}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в лифтовой шахте

$$\rho_I = 353 / T_I = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха во внутренних помещениях

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Характеристика сопротивления дверей надземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 1085,42 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Характеристика сопротивления дверей подземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 1085,42 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Давление в надземной части лифтовой шахты

$$P_{I(2)} = P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_I - \rho_r) = 19,54 \text{ Па}$$

Расход воздуха в открытых проёмах шахты на 1-м этаже, поступающего сверху

$$G_{I(2)} = \{ 2 \cdot \rho_I \cdot [P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_I - \rho_r) + 0,5 \cdot g \cdot h_{dl} \cdot (\rho_a - \rho_I)] / [\xi_I / (n \cdot F_{dl})^2] \}^{1/2} = 5,49 \text{ кг/с}$$

Расчётные зависимости давления и расхода воздуха на этажах

Давление, Па

$$P_{I(i)} = P_{I(2)}; \quad P_{I(-n)} = P_{I(-1)}$$

Утечки через неплотности в верхней части ЛШ, кг/с

$$\Delta G_{I(i)} = \{ [P_{I(i)} + g \cdot (h_{(i)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_s - \rho_r)] / S_{lr(i)} \}^{1/2} = 2,27 \text{ кг/с}$$

Приток в верхнюю часть лифтовой шахты

Массовый расход воздуха

$$G_L = 8 \text{ кг/с}$$

Давление в оголовке ЛШ

$$P_L = 24 \text{ Па}$$

Объёмный расход вентилятора

$$L_v = 3600 \cdot G_L / \rho_a = 19631 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = (1,2 / \rho_a) \cdot [P_L + g \cdot h_{IN} \cdot (\rho_a - \rho_l) + g \cdot h_{0s} \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_{dl}] = 273 \text{ Па}$$

Расход и скорость воздуха в открытых проёмах на первом этаже

Расход в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$L_{\text{холл1э}} = 6944 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$V_{\text{холл1э}} = 1,15 \text{ м/с}$$

Расход в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$L_{\text{лифт1э}} = 13888 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$V_{\text{лифт1э}} = 2,30 \text{ м/с}$$

Таблица 1. Давление и расходы воздуха на этажах

Этаж	h, м	P <sub>г</sub> , Па	P <sub>л</sub> , Па	ΔG, кг/с	G, кг/с
17	49,60	4,16	23,70	0,148	7,609
16	46,60	3,92	23,46	0,147	7,462
15	43,60	3,67	23,21	0,146	7,316
14	40,60	3,42	22,96	0,145	7,171
13	37,60	3,18	22,71	0,145	7,026
12	34,60	2,93	22,47	0,144	6,882
11	31,60	2,68	22,22	0,143	6,739
10	28,60	2,44	21,97	0,142	6,597
9	25,60	2,19	21,73	0,141	6,455
8	22,60	1,94	21,48	0,141	6,315
7	19,60	1,69	21,23	0,14	6,175
6	16,60	1,45	20,99	0,139	6,036
5	13,60	1,20	20,74	0,138	5,897
4	10,60	0,95	20,49	0,137	5,76
3	7,60	0,71	20,25	0,137	5,623
2	4,60	0,46	20,00	0,136	5,488
1	0,00	0,08			5,488

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП9 лифт для ППП Секция 1 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в лифтовую шахту

#### Условия:

Надземная лифтовая шахта.

Лифтовая шахта центрального ядра надземной части.

Выгороженный лифтовой холл на основном посадочном этаже.

Выгороженные лифтовые холлы на вышележащих надземных этажах.

#### Характеристики здания

Число надземных этажей:  $N_{НЭ} = 17$

Отметка уровня второго этажа (от пола 1-го до пола 2-го):  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота вышележащих этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{НЭ} = 3,00$  м

#### Характеристики лифтовой шахты

Нижний обслуживаемый этаж:  $НЭ_{Н} = 0$

Верхний обслуживаемый этаж:  $НЭ_{В} = 0$

Площадь дверей лифтовой шахты:  $F_{dl} = 2,00$  м<sup>2</sup>

Площадь дверей лифтовых холлов:  $F_{dr} = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота дверей лифтовой шахты:  $h_{dl} = 2,00$  м

Количество кабин лифтов в шахте:  $n = 1$

Количество дверей каждого лифтового холла:  $m = 2$

Площадь поперечного сечения кабины лифта по внешнему контуру ограждений:  $F_{lc} = 3,18$  м<sup>2</sup>

Площадь поперечного сечения шахты лифта по внутреннему контуру ограждений:  $F_{ls} = 4,69$  м<sup>2</sup>

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтовой шахты:  $S_{dl} = 2200,00$  м<sup>3</sup>/кг

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтового холла:  $S_{dr} = 4800,00$  м<sup>3</sup>/кг

КМС проема дверей выгороженного лифтового холла на основном посадочном этаже:  $\xi_d = 2,44$

#### Параметры воздуха

Температура наружного воздуха:  $t_a = -25,00$  °C

Температура воздуха в лифтовой шахте:  $t_l = 16,00$  °C

Температура воздуха во внутренних помещениях:  $t_r = 18,00$  °C

#### Система приточной противодымной вентиляции

Разность уровней воздухоприёмного устройства и верхнего оголовка ЛШ:  $h_{os} = 1,50$  м

Потери давления в сети до верхнего оголовка ЛШ:  $P_{dl} = 240,00$  Па

Избыточное давление в надземной части ЛШ:  $P_{20H} = 20,00$  Па

## РАСЧЕТ

КМС узла "кабина-шахта" при открытых дверях

$$\xi_l = 4,3 + F_{lc} / F_{ls} = 4,98$$

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ K}$$

$$T_l = t_l + 273,15 = 289,15 \text{ K}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 291,15 \text{ K}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в лифтовой шахте

$$\rho_l = 353 / T_l = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха во внутренних помещениях

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Характеристика сопротивления дверей надземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 758,33 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Характеристика сопротивления дверей подземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 758,33 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Давление в надземной части лифтовой шахты

$$P_{l(2)} = P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_l - \rho_r) = 19,54 \text{ Па}$$

Расход воздуха в открытых проёмах шахты на 1-м этаже, поступающего сверху

$$G_{l(2)} = \left\{ 2 \cdot \rho_l \cdot [P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_l - \rho_r) + 0,5 \cdot g \cdot h_{dl} \cdot (\rho_a - \rho_l)] / \right. \\ \left. [\xi_l / (n \cdot F_{dl})^2 + (\xi_d + 1) / (m \cdot F_{dr})^2] \right\}^{1/2} = 6,14 \text{ кг/с}$$

Расчётные зависимости давления и расхода воздуха на этажах

Давление, Па

$$P_{l(i)} = P_{l(2)}; \quad P_{l(-n)} = P_{l(-1)}$$

Утечки через неплотности в верхней части ЛШ, кг/с

$$\Delta G_{l(i)} = \left\{ [P_{l(i)} + g \cdot (h_{(i)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_s - \rho_r)] / S_{l(i)} \right\}^{1/2} = 2,72 \text{ кг/с}$$

Приток в верхнюю часть лифтовой шахты

Массовый расход воздуха

$$G_L = 9 \text{ кг/с}$$

Давление в оголовке ЛШ

$$P_L = 24 \text{ Па}$$

Объёмный расход вентилятора

$$L_V = 3600 \cdot G_L / \rho_a = 22407 \text{ м}^3/\text{ч}$$



Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = (1,2 / \rho_a) \cdot [P_L + g \cdot h_{IN} \cdot (\rho_a - \rho_l) + g \cdot h_{0s} \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_{dl}] = 319 \text{ Па}$$

**Расход и скорость воздуха в открытых проёмах на первом этаже**

Расход в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$L_{холл1э} = 7768 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$V_{холл1э} = 1,08 \text{ м/с}$$

Расход в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$L_{лифт1э} = 15536 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$V_{лифт1э} = 2,16 \text{ м/с}$$

**Таблица 1. Давление и расходы воздуха на этажах**

Этаж	h, м	P <sub>g</sub> , Па	P <sub>L</sub> , Па	ΔG, кг/с	G, кг/с
17	49,60	4,16	23,70	0,177	8,677
16	46,60	3,92	23,46	0,176	8,502
15	43,60	3,67	23,21	0,175	8,327
14	40,60	3,42	22,96	0,174	8,153
13	37,60	3,18	22,71	0,173	7,979
12	34,60	2,93	22,47	0,172	7,807
11	31,60	2,68	22,22	0,171	7,636
10	28,60	2,44	21,97	0,17	7,466
9	25,60	2,19	21,73	0,169	7,297
8	22,60	1,94	21,48	0,168	7,128
7	19,60	1,69	21,23	0,167	6,961
6	16,60	1,45	20,99	0,166	6,795
5	13,60	1,20	20,74	0,165	6,629
4	10,60	0,95	20,49	0,164	6,465
3	7,60	0,71	20,25	0,163	6,302
2	4,60	0,46	20,00	0,162	6,139
1	0,00	0,08			6,139

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).  
Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.  
Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД2 Секция 2 МИФИ Москворечье типовой этаж

Вариант: Удаление дыма из вестибюлей, холлов, коридоров, торговых моллов,  
атриумов и т.п., смежных с горящим помещением

Тип здания: Жилое

Площадь пола,  $F_f$ : 20 м<sup>2</sup>

Минимальная ширина,  $b$ : 4 м

Высота помещения,  $h$ : 2,84 м

Размеры проемов,  $B_i \times H_i$ :

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 360$  кг     $Q_{нд} = 14,4$  МДж/кг     $\Psi_i = 0,0135$  кг/м<sup>2</sup>/с

Температура воздуха в помещении,  $t_r$ : 20 °С

Теплота сгорания дерева,  $Q_{нд}$ : 13,8 МДж/кг (константа)

Коэффициент,  $k_{sm}$ : 1

Длина коридора,  $l_c$ : 28,61 м

Площадь коридора,  $A_c$ : 50,9 м<sup>2</sup>

Площадь двери при выходе из коридора,  $A_d$ : 2,4 м<sup>2</sup>

Высота двери,  $H_d$ : 2 м

Высота потолка коридора,  $h_k$ : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны,  $H_{нз}$ : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя,  $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$ : 1,54 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа,  $h_1$ : 2,2 м

Температура наружного воздуха,  $t_n$ : 23 °С

Скорость ветра,  $V_B$ : 2 м/с

**Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)**

**Участок 1:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ ,  $Z_{BB} = 1$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 2:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 3:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 4:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 5:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 6:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

**Участок 7:**

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 8:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 9:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 10:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 11:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 12:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 13:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 14:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 15:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 16:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 17:

Клапан 600 х 300 мм, Сечение 0,114 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 18:

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,72 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 5 \text{ м}, \quad Z_{ВВ} = 2,5, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 0,2 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов,  $R_d$ : 332 Па

Скорость истечения продуктов горения из выбросного устройства,  $v_f$ : 10 м/с

## РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 2,84 = 56,8 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 56,8^{2/3} = 88,65 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

$$A_0 = \sum A_i = \sum (B_i \cdot H_i) = 4,05 \text{ м}^2$$

Проемность помещения (объем < 1000 м<sup>3</sup>)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3587 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 360 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5184 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нсп} = Q_n / \sum m_i = 5184 / 360 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

$$V_0 = 0,263 \cdot Q_{нсп} = 0,263 \cdot 14,4 = 3,78 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Температура воздуха в помещении

$$T_r = t_a + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ К}$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_H / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5184 / (13,8 \cdot 20) = 18,78 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_H / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5184 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,43 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{кр} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,35^3 / (1 + 500 \cdot 0,35^3) + 56,8^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,79 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической  
=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0max} = T_r + 224 \cdot g_k^{0,528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,43^{0,528} = 785 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0max} = 0,8 \cdot 785 = 628 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{sm} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (628 - 293) \cdot (2 \cdot 1,54 + 50,9 / 28,61) / 28,61 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 28,61 / (2 \cdot 1,54 + 50,9 / 28,61))) = 360 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$G_{пг} = k_{sm} \cdot A_d \cdot H_d^{1/2} = 1 \cdot 2,4 \cdot 2^{1/2} = 3,39 \text{ кг/с}$$

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{пг} = 353 / T_{sm} = 353 / 360 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{пг} = G_{пг} / \rho_{пг} \cdot 3600 = 3,39 / 0,98 \cdot 3600 = 12466 \text{ м}^3/\text{час}$$

Температура наружного воздуха

$$T_H = t_H + 273 = 296 \text{ К}$$

Температура внутреннего воздуха до начала пожара

$$T_B = T_r = 293 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_H = 353 / T_H = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Плотность внутреннего воздуха до начала пожара

$$\rho_B = 353 / T_B = 1,20 \text{ кг/м}^3$$

Температура приточного воздуха

$$T_{п} = (T_H + T_B) / 2 = 294,5 \text{ К}$$

Плотность приточного воздуха

$$\rho_{п} = 353 / T_{п} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,11 \cdot 0,98) = 30,37 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,57 + 2,7) \cdot 30,37^2 \cdot 0,98 = 1478,66 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,03 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,29 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,03 + -1,29) / 2 = 0,36 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 2,03 - 1478,66 - 117,82 = -1594,45 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -1594,45)^{0,65} = 0,000736 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -1594,45)^{0,65} = 0,008299 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,008299 + 0,000736 + 0 = 0,009036 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,009036 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,009036 = 3,4031 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{в} \cdot G_a + T_{см} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,009036 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,009036) = 359,97 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 359,97 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((359,97 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (359,97 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,40 / (0,98 \cdot 0,22) = 15,42 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

Потери давления трения горизонтального участка

$$\Delta P_{вв} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 15,42^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,47 + 1) = 117,82 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 15,42 \cdot 0,47 / (20,20 \cdot 10^{-6}) = 361624$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,40 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,30 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,30^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 32,28 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 12,30 \cdot 0,52 / (20,20 \cdot 10^{-6}) = 321068$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,21 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,12 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,21 + -1,12) / 2 = 0,54 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1594,45 - 32,28 = -1626,73 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((0,54 - -1626,73) / 11000)} = 0,043846 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -1626,73)^{0,65} = 0,000746 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -1626,73)^{0,65} = 0,008408 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,008408 + 0,000746 + 0,043846 = 0,053002 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{ф} = 0,062038 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,062038 = 3,4561 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_{а} + T_{см} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,062038 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,062038) = 358,94 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 358,94 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((358,94 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (358,94 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,45 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,46 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$



$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,46^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 33,20 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,46 \cdot 0,52 / (20,09 \cdot 10^{-6}) = 326967$$

**Участок 3:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,39 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,94 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,39 + -0,94) / 2 = 0,72 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1626,73 - 33,20 = -1659,93 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((0,72 - -1659,93) / 11000)} = 0,044294 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -1659,93)^{0,65} = 0,000756 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -1659,93)^{0,65} = 0,008520 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,008520 + 0,000756 + 0,044294 = 0,053571 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,115610 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,115610 = 3,5097 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,115610 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,115610) = 357,93 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 357,93 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((357,93 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (357,93 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,97 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,50 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,61 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,61^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 34,13 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,61 \cdot 0,52 / (19,97 \cdot 10^{-6}) = 332938$$

**Участок 4:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,57 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,76 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,57 + -0,76) / 2 = 0,90 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1659,93 - 34,13 = -1694,07 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_B - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((0,90 - -1694,07) / 11000)} = 0,044749 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -1694,07)^{0,65} = 0,000766 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -1694,07)^{0,65} = 0,008634 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,008634 + 0,000766 + 0,044749 = 0,054151 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,169761 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,169761 = 3,5638 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,169761 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,169761) = 356,95 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 356,95 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((356,95 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (356,95 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,56 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,77 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,77^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 35,09 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,77 \cdot 0,52 / (19,87 \cdot 10^{-6}) = 338982$$

**Участок 5:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{H1} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,75 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,58 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,75 + -0,58) / 2 = 1,08 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1694,07 - 35,09 = -1729,16 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{(P_B - P_{ш}) / S_{кл}} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,08 - -1729,16) / 11000)} = 0,045212 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -1729,16)^{0,65} = 0,000776 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -1729,16)^{0,65} = 0,008751 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,008751 + 0,000776 + 0,045212 = 0,054740 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,224502 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,224502 = 3,6186 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,224502 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,224502) = 355,98 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 355,98 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((355,98 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (355,98 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,61 / (0,99 \cdot 0,28) = 12,94 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,99 \cdot 12,94^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 36,08 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 12,94 \cdot 0,52 / (19,76 \cdot 10^{-6}) = 345099$$

**Участок 6:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_n - \rho_p) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,93 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_n - \rho_p) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,40 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,93 + -0,40) / 2 = 1,26 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1729,16 - 36,08 = -1765,24 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{(P_B - P_{ш}) / S_{кл}} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,26 - -1765,24) / 11000)} = 0,045684 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -1765,24)^{0,65} = 0,000787 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -1765,24)^{0,65} = 0,008869 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,008869 + 0,000787 + 0,045684 = 0,055341 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{фj}} = 0,279843 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,279843 = 3,6739 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,279843 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,279843) = 355,03 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 355,03 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((355,03 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (355,03 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,99 \cdot 0,28) = 13,10 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 13,10^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 37,08 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,10 \cdot 0,52 / (19,66 \cdot 10^{-6}) = 351290$$

**Участок 7:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,11 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,22 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,11 + -0,22) / 2 = 1,44 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -1765,24 - 37,08 = -1802,33 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,44 - -1802,33) / 11000)} = 0,046163 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -1802,33)^{0,65} = 0,000798 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -1802,33)^{0,65} = 0,008991 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,008991 + 0,000798 + 0,046163 = 0,055952 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{фj}} = 0,335796 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,335796 = 3,7299 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,335796 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,335796) = 354,10 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 354,10 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((354,10 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (354,10 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,72 / (0,99 \cdot 0,28) = 13,26 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,99 \cdot 13,26^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 38,12 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 13,26 \cdot 0,52 / (19,55 \cdot 10^{-6}) = 357558$$

**Участок 8:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,29 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,04 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (3,29 + -0,04) / 2 = 1,62 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1802,33 - 38,12 = -1840,46 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,62 - -1840,46) / 11000)} = 0,046651 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1840,46)^{0,65} = 0,000809 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1840,46)^{0,65} = 0,009114 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,009114 + 0,000809 + 0,046651 = 0,056575 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,392371 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,392371 = 3,7864 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,392371 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,392371) = 353,19 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 353,19 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((353,19 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (353,19 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,78 / (0,99 \cdot 0,28) = 13,43 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 13,43^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 39,18 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,43 \cdot 0,52 / (19,45 \cdot 10^{-6}) = 363902$$

**Участок 9:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,46 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,13 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,46 + 0,13) / 2 = 1,79 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1840,46 - 39,18 = -1879,64 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,79 - -1879,64) / 11000)} = 0,047146 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -1879,64)^{0,65} = 0,000820 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -1879,64)^{0,65} = 0,009240 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009240 + 0,000820 + 0,047146 = 0,057208 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,449579 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,449579 = 3,8436 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,449579 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,449579) = 352,29 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 352,29 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((352,29 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (352,29 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,84 / (1,00 \cdot 0,28) = 13,60 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 13,60^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 40,26 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,60 \cdot 0,52 / (19,36 \cdot 10^{-6}) = 370326$$

**Участок 10:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,64 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,30 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,64 + 0,30) / 2 = 1,97 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1879,64 - 40,26 = -1919,9 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((1,97 - -1919,9) / 11000)} = 0,047650 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -1919,9)^{0,65} = 0,000831 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -1919,9)^{0,65} = 0,009369 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009369 + 0,000831 + 0,047650 = 0,057852 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,507432 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,507432 = 3,9015 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,507432 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,507432) = 351,41 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 351,41 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((351,41 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (351,41 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,90 / (1,00 \cdot 0,28) = 13,77 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 13,77^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 41,38 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,77 \cdot 0,52 / (19,26 \cdot 10^{-6}) = 376828$$

**Участок 11:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_H) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,48 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,82 + 0,48) / 2 = 2,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -1919,9 - 41,38 = -1961,28 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,15 - -1961,28) / 11000)} = 0,048163 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{БВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -1961,28)^{0,65} = 0,000843 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -1961,28)^{0,65} = 0,009500 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,009500 + 0,000843 + 0,048163 = 0,058507 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,565939 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,565939 = 3,9600 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_a) = (293 \cdot 0,565939 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,565939) = 350,55 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ K} = 353 / 350,55 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((350,55 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (350,55 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,96 / (1,00 \cdot 0,28) = 13,94 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = 0,5 \cdot 1,00 \cdot 13,94^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 42,51 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 13,94 \cdot 0,52 / (19,17 \cdot 10^{-6}) = 383412$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_H) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,00 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,66 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (4,00 + 0,66) / 2 = 2,33 \text{ Па}$$



**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1961,28 - 42,51 = -2003,8 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,33 - -2003,8) / 11000)} = 0,048684 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -2003,8)^{0,65} = 0,000855 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -2003,8)^{0,65} = 0,009634 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,009634 + 0,000855 + 0,048684 = 0,059174 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,625113 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,625113 = 4,0192 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,625113 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,625113) = 349,70 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 349,70 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((349,70 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (349,70 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,01 / (1,00 \cdot 0,28) = 14,11 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 1,00 \cdot 14,11^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 43,69 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,11 \cdot 0,52 / (19,07 \cdot 10^{-6}) = 390078$$

**Участок 13:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,18 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,84 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,18 + 0,84) / 2 = 2,51 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2003,8 - 43,69 = -2047,49 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,51 - -2047,49) / 11000)} = 0,049213 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -2047,49)^{0,65} = 0,000867 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -2047,49)^{0,65} = 0,009770 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,009770 + 0,000867 + 0,049213 = 0,059852 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,684965 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,684965 = 4,0790 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,684965 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,684965) = 348,87 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 348,87 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((348,87 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (348,87 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,07 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,29 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,29^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 44,89 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 14,29 \cdot 0,52 / (18,98 \cdot 10^{-6}) = 396827$$

**Участок 14:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,36 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,02 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,36 + 1,02) / 2 = 2,69 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -2047,49 - 44,89 = -2092,38 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,11 \cdot \sqrt{((2,69 - -2092,38) / 11000)} = 0,049751 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -2092,38)^{0,65} = 0,000879 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -2092,38)^{0,65} = 0,009909 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,009909 + 0,000879 + 0,049751 = 0,060541 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,745507 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,745507 = 4,1396 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,745507 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,745507) = 348,05 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 348,05 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((348,05 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (348,05 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,90 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,13 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,47 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,47^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 46,12 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,47 \cdot 0,52 / (18,90 \cdot 10^{-6}) = 403661$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,54 + 1,20) / 2 = 2,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2092,38 - 46,12 = -2138,5 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{(P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}}} = 0,11 \cdot \sqrt{(2,87 - -2138,5) / 11000} = 0,050298 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -2138,5)^{0,65} = 0,000892 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -2138,5)^{0,65} = 0,010051 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010051 + 0,000892 + 0,050298 = 0,061242 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,806749 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,806749 = 4,2008 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,806749 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,806749) = 347,25 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 347,25 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((347,25 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (347,25 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,20 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,65 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,65^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 47,38 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 14,65 \cdot 0,52 / (18,81 \cdot 10^{-6}) = 410582$$

**Участок 16:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,72 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,38 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,72 + 1,38) / 2 = 3,05 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -2138,5 - 47,38 = -2185,89 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((3,05 - -2185,89) / 11000)} = 0,050853 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -2185,89)^{0,65} = 0,000905 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -2185,89)^{0,65} = 0,010196 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010196 + 0,000905 + 0,050853 = 0,061955 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,868705 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,868705 = 4,2628 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,868705 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,868705) = 346,46 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 346,46 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((346,46 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (346,46 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,26 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,83 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,83^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 48,67 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,83 \cdot 0,52 / (18,72 \cdot 10^{-6}) = 417589$$

Участок 17:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,89 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,56 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,89 + 1,56) / 2 = 3,22 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -2185,89 - 48,67 = -2234,56 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,11 \cdot \sqrt{((3,22 - -2234,56) / 11000)} = 0,051418 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -2234,56)^{0,65} = 0,000918 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -2234,56)^{0,65} = 0,010343 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,010343 + 0,000918 + 0,051418 = 0,062680 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,931385 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,931385 = 4,3255 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,931385 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,931385) = 345,69 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 345,69 = 1,02 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((345,69 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (345,69 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,32 / (1,02 \cdot 0,28) = 15,02 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 1,02 \cdot 15,02^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 49,99 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 15,02 \cdot 0,52 / (18,64 \cdot 10^{-6}) = 424686$$

**Участок 18:**

**Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса**

$$P_{нн.в} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{выброс} \cdot (\rho_n - \rho_n) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 53,4 \cdot (1,19 - 1,19) = 5,09 \text{ Па}$$

**Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана**

$$P_{шн} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -2234,56 - 49,99 = -2284,55 \text{ Па}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_v / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 17 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -2284,55)^{0,65} = 0,027787 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_v / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,42 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -2284,55)^{0,65} = 0,000699 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,000699 + 0,027787 + 0 = 0,028486 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,959872 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,959872 = 4,3539 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_v \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,959872 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,959872) = 345,34 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения на уровне выброса**

$$\rho_n = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 345,34 = 1,02 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((345,34 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (345,34 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,60 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в горизонтальном участке**

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 4,35 / (1,02 \cdot 0,72) = 5,89 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка**

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка**

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

**Потери давления в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора**

$$\Delta P_{сети} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) = \\ 0,5 \cdot 1,02 \cdot 5,89^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,85 + 2,5) = 46,06 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для горизонтального участка**

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 5,89 \cdot 0,85 / (18,60 \cdot 10^{-6}) = 269334$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,35 / (1,02 \cdot 0,28) = 15,10 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 1,02 \cdot 15,10^2 \cdot (0,02 \cdot 0,2 / 0,52 + 0,3) = 36,02 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 15,10 \cdot 0,52 / (18,60 \cdot 10^{-6}) = 427914$$

**Массовый расход продуктов горения**

$$G_{ш} = 4,3539 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{ш} / \rho_N \cdot 3600 = 4,3539 / 1,0221 \cdot 3600 = 15334 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{шН} + \Delta P_{сети} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 3228,14 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 73 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,42 м<sup>2</sup>, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

$$G_{нв} = G_{пг} / (1,3 \div 1,0) = 3,3941 / (1,3 \div 1,0) = (2,6108 \div 3,3941) \text{ кг/с}$$

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

$$L_{нв} = G_{нв} / \rho_{н} \cdot 3600 = (2,6108 \div 3,3941) / 1,19 \cdot 3600 = (7881 \div 10246) \text{ м}^3/\text{час}$$

KBM

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).  
Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.  
Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: КПУ1-Н ВД2 Секция 2 МИФИ Москворечье типовой этаж

Вариант: Удаление дыма из вестибюлей, холлов, коридоров, торговых моллов,  
атриумов и т.п., смежных с горящим помещением

Тип здания: Жилое

Площадь пола,  $F_f$ : 20 м<sup>2</sup>

Минимальная ширина,  $b$ : 4 м

Высота помещения,  $h$ : 2,84 м

Размеры проемов,  $B_i$  x  $H_i$ :

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 360$  кг     $Q_{нд} = 14,4$  МДж/кг     $\Psi_i = 0,0135$  кг/м<sup>2</sup>/с

Температура воздуха в помещении,  $t_r$ : 20 °С

Теплота сгорания дерева,  $Q_{нд}$ : 13,8 МДж/кг (константа)

Коэффициент,  $k_{sm}$ : 1

Длина коридора,  $l_c$ : 28,61 м

Площадь коридора,  $A_c$ : 50,9 м<sup>2</sup>

Площадь двери при выходе из коридора,  $A_d$ : 2,4 м<sup>2</sup>

Высота двери,  $H_d$ : 2 м

Высота потолка коридора,  $h_k$ : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны,  $H_{нз}$ : 1,3 м



Предельная толщина дымового слоя,  $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$ : 1,54 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа,  $h_1$ : 2,2 м

Температура наружного воздуха,  $t_n$ : 23 °С

Скорость ветра,  $V_B$ : 2 м/с

## Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)

### Участок 1:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ ,  $Z_{BB} = 1$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 2:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 3:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 4:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 5:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 6:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{Ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{Ш} = 0,3$ , Бетон

### Участок 7:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 8:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 9:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 10:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 11:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 12:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 13:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 14:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 15:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,22 \text{ м}^2$ ,  $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$ , Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,28 \text{ м}^2$ ,  $L_{ш} = 3 \text{ м}$ ,  $Z_{ш} = 0,3$ , Бетон

Участок 16:

Клапан 600 x 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 17:

Клапан 600 х 400 мм, Сечение 0,164 м<sup>2</sup>

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,22 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 0,3 \text{ м}, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 3 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Участок 18:

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,72 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 5 \text{ м}, \quad Z_{ВВ} = 2,5, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,28 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 0,2 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Бетон}$$

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов,  $R_d$ : 332 Па

Скорость истечения продуктов горения из выбросного устройства,  $v_f$ : 10 м/с

## РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 2,84 = 56,8 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 56,8^{2/3} = 88,65 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

$$A_0 = \sum A_i = \sum (B_i \cdot H_i) = 4,05 \text{ м}^2$$

Проемность помещения (объем < 1000 м<sup>3</sup>)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3587 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 360 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5184 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нсп} = Q_n / \sum m_i = 5184 / 360 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

$$V_0 = 0,263 \cdot Q_{нсп} = 0,263 \cdot 14,4 = 3,78 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Температура воздуха в помещении

$$T_r = t_a + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ К}$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_H / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5184 / (13,8 \cdot 20) = 18,78 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_H / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5184 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,43 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{кр} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,35^3 / (1 + 500 \cdot 0,35^3) + 56,8^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,79 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0max} = T_r + 224 \cdot g_k^{0,528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,43^{0,528} = 785 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0max} = 0,8 \cdot 785 = 628 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{sm} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (628 - 293) \cdot (2 \cdot 1,54 + 50,9 / 28,61) / 28,61 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 28,61 / (2 \cdot 1,54 + 50,9 / 28,61))) = 360 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$G_{пг} = k_{sm} \cdot A_d \cdot H_d^{1/2} = 1 \cdot 2,4 \cdot 2^{1/2} = 3,39 \text{ кг/с}$$

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{пг} = 353 / T_{sm} = 353 / 360 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{пг} = G_{пг} / \rho_{пг} \cdot 3600 = 3,39 / 0,98 \cdot 3600 = 12466 \text{ м}^3/\text{час}$$

Температура наружного воздуха

$$T_H = t_H + 273 = 296 \text{ К}$$

Температура внутреннего воздуха до начала пожара

$$T_B = T_r = 293 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_H = 353 / T_H = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Плотность внутреннего воздуха до начала пожара

$$\rho_B = 353 / T_B = 1,20 \text{ кг/м}^3$$

Температура приточного воздуха

$$T_{п} = (T_H + T_B) / 2 = 294,5 \text{ К}$$

Плотность приточного воздуха

$$\rho_{\text{п}} = 353 / T_{\text{п}} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 18)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,16 \cdot 0,98) = 21,11 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,38 + 2,7) \cdot 21,11^2 \cdot 0,98 = 672,96 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,03 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 2,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,29 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,03 + -1,29) / 2 = 0,36 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{нн}} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{вв}} = 2,03 - 672,96 - 117,61 = -788,54 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -788,54)^{0,65} = 0,000466 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,36 - -788,54)^{0,65} = 0,005252 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005252 + 0,000466 + 0 = 0,005718 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,005718 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,005718 = 3,3998 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{К} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,005718 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,005718) = 360,03 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{К} = 353 / 360,03 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((360,03 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (360,03 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 3,39 / (0,98 \cdot 0,22) = 15,41 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка

$$\epsilon_{\text{вв}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка

$$\lambda_{\text{вв}} = 0,01$$

Потери давления трения горизонтального участка

$$\Delta P_{\text{вв}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{вв}}^2 \cdot (\lambda_{\text{вв}} \cdot L_{\text{вв}} / D_{\text{эвв}} + Z_{\text{вв}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 15,41^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,47 + 1) = 117,61 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 15,41 \cdot 0,47 / (20,21 \cdot 10^{-6}) = 361208$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,29 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,29^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 32,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,29 \cdot 0,52 / (20,21 \cdot 10^{-6}) = 320699$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,21 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 5,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,12 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,21 + -1,12) / 2 = 0,54 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -788,54 - 32,22 = -820,77 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((0,54 - -820,77) / 11000)} = 0,044813 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -820,77)^{0,65} = 0,000478 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,54 - -820,77)^{0,65} = 0,005391 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005391 + 0,000478 + 0,044813 = 0,050683 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,056402 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,056402 = 3,4505 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,056402 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,056402) = 359,05 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 359,05 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((359,05 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (359,05 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,45 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,44 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,44^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 33,10 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,44 \cdot 0,52 / (20,10 \cdot 10^{-6}) = 326340$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,39 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,94 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,39 + -0,94) / 2 = 0,72 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -820,77 - 33,10 = -853,87 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((0,72 - -853,87) / 11000)} = 0,045711 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -853,87)^{0,65} = 0,000491 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,72 - -853,87)^{0,65} = 0,005532 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005532 + 0,000491 + 0,045711 = 0,051735 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,108138 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,108138 = 3,5022 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,108138 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,108138) = 358,07 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 358,07 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((358,07 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (358,07 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,99 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,50 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,59 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,59^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 34,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,59 \cdot 0,52 / (19,99 \cdot 10^{-6}) = 332105$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,57 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_H - \rho_H) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 11,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,76 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,57 + -0,76) / 2 = 0,90 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -853,87 - 34,00 = -887,87 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_B - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((0,90 - -887,87) / 11000)} = 0,046617 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -887,87)^{0,65} = 0,000503 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (0,90 - -887,87)^{0,65} = 0,005675 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005675 + 0,000503 + 0,046617 = 0,052796 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,160934 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,160934 = 3,5550 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,160934 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,160934) = 357,10 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 357,10 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((357,10 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (357,10 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,88 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,55 / (0,98 \cdot 0,28) = 12,75 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,98 \cdot 12,75^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 34,94 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,75 \cdot 0,52 / (19,88 \cdot 10^{-6}) = 337996$$

**Участок 5:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{H1} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_H - \rho_H) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,75 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_H - \rho_H) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 14,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,58 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,75 + -0,58) / 2 = 1,08 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -887,87 - 34,94 = -922,81 \text{ Па}$$



**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,08 - -922,81) / 11000)} = 0,047529 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -922,81)^{0,65} = 0,000516 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,08 - -922,81)^{0,65} = 0,005820 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005820 + 0,000516 + 0,047529 = 0,053866 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,214800 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,214800 = 3,6089 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,214800 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,214800) = 356,15 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 356,15 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((356,15 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (356,15 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,60 / (0,99 \cdot 0,28) = 12,91 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,99 \cdot 12,91^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 35,90 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 12,91 \cdot 0,52 / (19,78 \cdot 10^{-6}) = 344014$$

**Участок 6:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{б}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,93 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{б}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 17,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,40 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,93 + -0,40) / 2 = 1,26 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -922,81 - 35,90 = -958,72 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,26 - -958,72) / 11000)} = 0,048448 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -958,72)^{0,65} = 0,000529 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,26 - -958,72)^{0,65} = 0,005967 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005967 + 0,000529 + 0,048448 = 0,054945 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{фj}} = 0,269746 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,269746 = 3,6638 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,269746 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,269746) = 355,20 \text{ K}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 355,20 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((355,20 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (355,20 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,66 / (0,99 \cdot 0,28) = 13,07 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 13,07^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 36,90 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,07 \cdot 0,52 / (19,67 \cdot 10^{-6}) = 350160$$

**Участок 7:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,11 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_7 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 20,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,22 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,11 + -0,22) / 2 = 1,44 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -958,72 - 36,90 = -995,62 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,44 - -995,62) / 11000)} = 0,049375 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -995,62)^{0,65} = 0,000543 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,44 - -995,62)^{0,65} = 0,006115 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006115 + 0,000543 + 0,049375 = 0,056034 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{\text{фj}} = 0,325780 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,325780 = 3,7198 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,325780 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,325780) = 354,26 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 354,26 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((354,26 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (354,26 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,71 / (0,99 \cdot 0,28) = 13,23 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,99 \cdot 13,23^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 37,93 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 13,23 \cdot 0,52 / (19,57 \cdot 10^{-6}) = 356435$$

**Участок 8:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,29 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 23,2 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,04 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (3,29 + -0,04) / 2 = 1,62 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -995,62 - 37,93 = -1033,56 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,62 - -1033,56) / 11000)} = 0,050310 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1033,56)^{0,65} = 0,000556 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,62 - -1033,56)^{0,65} = 0,006266 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,006266 + 0,000556 + 0,050310 = 0,057133 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,382913 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,382913 = 3,7770 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,382913 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,382913) = 353,34 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 353,34 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((353,34 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (353,34 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,77 / (0,99 \cdot 0,28) = 13,40 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 13,40^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 39,00 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,40 \cdot 0,52 / (19,47 \cdot 10^{-6}) = 362841$$

**Участок 9:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,46 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{г}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 26,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,13 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,46 + 0,13) / 2 = 1,79 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1033,56 - 39,00 = -1072,57 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,79 - -1072,57) / 11000)} = 0,051253 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -1072,57)^{0,65} = 0,000570 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,79 - -1072,57)^{0,65} = 0,006420 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006420 + 0,000570 + 0,051253 = 0,058243 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,441157 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,441157 = 3,8352 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,441157 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,441157) = 352,42 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 352,42 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((352,42 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (352,42 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,83 / (1,00 \cdot 0,28) = 13,57 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 13,57^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 40,10 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,57 \cdot 0,52 / (19,37 \cdot 10^{-6}) = 369379$$

**Участок 10:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,64 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 29,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,30 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,64 + 0,30) / 2 = 1,97 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1072,57 - 40,10 = -1112,67 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((1,97 - -1112,67) / 11000)} = 0,052205 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -1112,67)^{0,65} = 0,000583 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (1,97 - -1112,67)^{0,65} = 0,006575 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,006575 + 0,000583 + 0,052205 = 0,059364 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,500522 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,500522 = 3,8946 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{К} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,500522 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,500522) = 351,51 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{К} = 353 / 351,51 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{К} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((351,51 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (351,51 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,89 / (1,00 \cdot 0,28) = 13,75 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 13,75^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 41,24 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 13,75 \cdot 0,52 / (19,27 \cdot 10^{-6}) = 376051$$

**Участок 11:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_H) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 32,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,48 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,82 + 0,48) / 2 = 2,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -1112,67 - 41,24 = -1153,92 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,15 - -1153,92) / 11000)} = 0,053166 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{БВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -1153,92)^{0,65} = 0,000597 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,15 - -1153,92)^{0,65} = 0,006733 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,006733 + 0,000597 + 0,053166 = 0,060498 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,561020 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,561020 = 3,9551 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_a) = (293 \cdot 0,561020 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,561020) = 350,62 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ K} = 353 / 350,62 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((350,62 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (350,62 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,95 / (1,00 \cdot 0,28) = 13,93 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = 0,5 \cdot 1,00 \cdot 13,93^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 42,42 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 13,93 \cdot 0,52 / (19,17 \cdot 10^{-6}) = 382858$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_H) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,00 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 35,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,66 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (4,00 + 0,66) / 2 = 2,33 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1153,92 - 42,42 = -1196,35 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,33 - -1196,35) / 11000)} = 0,054137 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -1196,35)^{0,65} = 0,000612 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,33 - -1196,35)^{0,65} = 0,006893 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,006893 + 0,000612 + 0,054137 = 0,061643 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,622663 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,622663 = 4,0167 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,622663 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,622663) = 349,74 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 349,74 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((349,74 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (349,74 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,08 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,01 / (1,00 \cdot 0,28) = 14,11 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 1,00 \cdot 14,11^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 43,64 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 14,11 \cdot 0,52 / (19,08 \cdot 10^{-6}) = 389802$$

**Участок 13:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,18 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 38,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,84 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,18 + 0,84) / 2 = 2,51 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1196,35 - 43,64 = -1239,99 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,51 - -1239,99) / 11000)} = 0,055118 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -1239,99)^{0,65} = 0,000626 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,51 - -1239,99)^{0,65} = 0,007056 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,007056 + 0,000626 + 0,055118 = 0,062801 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,685465 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,685465 = 4,0795 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,685465 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,685465) = 348,86 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 348,86 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((348,86 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (348,86 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,07 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,29 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,29^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 44,89 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 14,29 \cdot 0,52 / (18,98 \cdot 10^{-6}) = 396883$$

**Участок 14:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,36 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{14} \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 41,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,02 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,36 + 1,02) / 2 = 2,69 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1239,99 - 44,89 = -1284,89 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,69 - -1284,89) / 11000)} = 0,056109 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -1284,89)^{0,65} = 0,000641 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,69 - -1284,89)^{0,65} = 0,007221 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,007221 + 0,000641 + 0,056109 = 0,063972 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,749437 \text{ кг/с}$$



Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,749437 = 4,1435 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,749437 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,749437) = 348,00 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 348,00 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((348,00 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (348,00 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,89 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,14 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,48 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,48^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 46,20 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,48 \cdot 0,52 / (18,89 \cdot 10^{-6}) = 404105$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 44,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,54 + 1,20) / 2 = 2,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -1284,89 - 46,20 = -1331,09 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((2,87 - -1331,09) / 11000)} = 0,057110 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -1331,09)^{0,65} = 0,000656 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (2,87 - -1331,09)^{0,65} = 0,007389 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,007389 + 0,000656 + 0,057110 = 0,065156 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,814594 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,814594 = 4,2087 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,814594 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,814594) = 347,15 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 347,15 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((347,15 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (347,15 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,80 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,20 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,67 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$

$$0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,67^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 47,53 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 14,67 \cdot 0,52 / (18,80 \cdot 10^{-6}) = 411468$$

**Участок 16:**

**Давление снаружи здания с наветренной стороны**

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,72 \text{ Па}$$

**Давление снаружи здания с заветренной стороны**

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{16} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 47,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,38 \text{ Па}$$

**Давление внутри здания**

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,72 + 1,38) / 2 = 3,05 \text{ Па}$$

**Давление в шахте**

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш(и-1)}} - \Delta P_{\text{ш(и-1)}} = -1331,09 - 47,53 = -1378,63 \text{ Па}$$

**Подсосы закрытого клапана**

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((3,05 - -1378,63) / 11000)} = 0,058123 \text{ кг/с}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -1378,63)^{0,65} = 0,000671 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,05 - -1378,63)^{0,65} = 0,007560 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,007560 + 0,000671 + 0,058123 = 0,066355 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,880949 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,880949 = 4,2750 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) =$$

$$(293 \cdot 0,880949 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,880949) = 346,31 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения**

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 346,31 = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((346,31 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (346,31 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,71 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,27 / (1,01 \cdot 0,28) = 14,87 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 1,01 \cdot 14,87^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 48,92 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 14,87 \cdot 0,52 / (18,71 \cdot 10^{-6}) = 418975$$

Участок 17:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,89 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{17} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,2 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,56 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,89 + 1,56) / 2 = 3,22 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -1378,63 - 48,92 = -1427,56 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,16 \cdot \sqrt{((3,22 - -1427,56) / 11000)} = 0,059147 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,57 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -1427,56)^{0,65} = 0,000686 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 6,42 \cdot 0,032 \cdot (3,22 - -1427,56)^{0,65} = 0,007734 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,007734 + 0,000686 + 0,059147 = 0,067568 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,948517 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,948517 = 4,3426 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,948517 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,948517) = 345,48 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 345,48 = 1,02 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((345,48 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (345,48 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,34 / (1,02 \cdot 0,28) = 15,07 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,02$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 1,02 \cdot 15,07^2 \cdot (0,02 \cdot 3 / 0,52 + 0,3) = 50,36 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 15,07 \cdot 0,52 / (18,62 \cdot 10^{-6}) = 426627$$

**Участок 18:**

**Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса**

$$P_{нн.в} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{выброс} \cdot (\rho_n - \rho_p) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 53,4 \cdot (1,19 - 1,19) = 5,09 \text{ Па}$$

**Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана**

$$P_{шн} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -1427,56 - 50,36 = -1477,92 \text{ Па}$$

**Подсосы горизонтального участка**

$$G_{фвв} = \rho_v / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 17 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -1477,92)^{0,65} = 0,020947 \text{ кг/с}$$

**Подсосы вертикального участка**

$$G_{фш} = (\rho_v / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_v - P_{ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,42 \cdot 0,032 \cdot (3,42 - -1477,92)^{0,65} = 0,000527 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы участка**

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,000527 + 0,020947 + 0 = 0,021474 \text{ кг/с}$$

**Суммарные подсосы**

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,969992 \text{ кг/с}$$

**Расход продуктов горения с учетом подсосов**

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,969992 = 4,3641 \text{ кг/с}$$

**Температура продуктов горения на участке шахты**

$$T^{\circ}\text{K} = (T_v \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) =$$

$$(293 \cdot 0,969992 + 360,14 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,969992) = 345,22 \text{ К}$$

**Плотность продуктов горения на уровне выброса**

$$\rho_n = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 345,22 = 1,02 \text{ кг/м}^3$$

**Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения**

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((345,22 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (345,22 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 18,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

**Скорость продуктов горения в горизонтальном участке**

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 4,36 / (1,02 \cdot 0,72) = 5,90 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала горизонтального участка**

$$\epsilon_{вв} = 0,1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения горизонтального участка**

$$\lambda_{вв} = 0,01$$

**Потери давления в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора**

$$\Delta P_{сети} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{вв}^2 \cdot (\lambda_{вв} \cdot L_{вв} / D_{эвв} + Z_{вв}) =$$

$$0,5 \cdot 1,02 \cdot 5,90^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,85 + 2,5) = 46,26 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для горизонтального участка**

$$Re_{вв} = V_{вв} \cdot D_{эвв} / \nu = 5,90 \cdot 0,85 / (18,59 \cdot 10^{-6}) = 270056$$

**Скорость продуктов горения в вертикальном участке**

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,36 / (1,02 \cdot 0,28) = 15,13 \text{ м/с}$$

**Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка**

$$\epsilon_{ш} = 1 \text{ мм}$$

**Коэффициент сопротивления трения вертикального участка**

$$\lambda_{ш} = 0,02$$

**Потери давления трения вертикального участка**

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) =$$

$$0,5 \cdot 1,02 \cdot 15,13^2 \cdot (0,02 \cdot 0,2 / 0,52 + 0,3) = 36,17 \text{ Па}$$

**Число Рейнольдса для вертикального участка**

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 15,13 \cdot 0,52 / (18,59 \cdot 10^{-6}) = 429060$$

**Массовый расход продуктов горения**

$$G_{ш} = 4,3641 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{ш} / \rho_N \cdot 3600 = 4,3641 / 1,0225 \cdot 3600 = 15365 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{шН} + \Delta P_{сети} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 2280,8 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 73 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,42 м<sup>2</sup>, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

$$G_{нв} = G_{пг} / (1,3 \div 1,0) = 3,3941 / (1,3 \div 1,0) = (2,6108 \div 3,3941) \text{ кг/с}$$

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

$$L_{нв} = G_{нв} / \rho_n \cdot 3600 = (2,6108 \div 3,3941) / 1,19 \cdot 3600 = (7881 \div 10246) \text{ м}^3/\text{час}$$

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП2 Лестница Н2 Секция 2 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в лестничную клетку надземной части

#### Условия:

Лестничная клетка примыкает к наружной стене с окнами на каждом этаже.

Лестничная клетка с обособленным наружным выходом.

Первый этаж не сообщается с лестничной клеткой, либо сообщается через тамбур-шлюзы, защищённые ППДВ.

Позэтажные выходы в лестничную клетку через тамбур-шлюзы, защищённые ППДВ.

#### Характеристики здания

Число этажей:  $N_{нэ} = 18$

Отметка уровня второго этажа:  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота этажей (второго и выше):  $\Delta h_{нэ} = 3,00$  м

#### Параметры воздуха

Массовый расход удаляемых продуктов горения:  $G_{sm} = 3,39$  кг/с

Температура внутреннего воздуха:  $t_r = 16,00$  °C

Температура наружного воздуха:  $t_a = -25,00$  °C

Скорость ветра:  $v_a = 2,00$  м/с

#### Коэффициенты ветрового напора

Наветренная сторона:  $K_{ww} = 0,80$

Заветренная сторона:  $K_{w0} = -0,60$

#### Лестничная клетка

Без рассечек

Площадь горизонтальной проекции маршей и площадок:  $F_s = 14,30$  м<sup>2</sup>

Коэффициент местного сопротивления маршей:  $\xi_s = 60,00$

#### Наружный выход лестничной клетки

Площадь двери наружного выхода:  $F_{da} = 2,20$  м<sup>2</sup>

Высота двери наружного выхода:  $h_{da} = 2,00$  м

Количество последовательно расположенных дверей наружного выхода:  $n = 2$

КМС проема дверей наружного выхода:  $\xi_d = 2,44$

КМС тамбура наружного выхода (Z-образный):  $\xi_r = 2,90$

## Позажаные выходы на лестничную клетку

Площадь каждой двери:  $F_d = 2,00 \text{ м}^2$

Высота каждой двери:  $h_d = 2,00 \text{ м}$

Тип двери: **дымогазонепроницаемая**

Сопротивление воздухопроницанию закрытой двери

принято как для дымогазонепроницаемой двери:  $S_d = 60000 / \rho_s = 45662,90 \text{ м}^3/\text{кг}$

## Оконные проёмы лестничной клетки

Нормируемая воздухопроницаемость проёмов:  $G_H = 5,00 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

Площадь проёма на каждом этаже:  $F_w = 1,80 \text{ м}^2$

## Система приточной противодымной вентиляции

Разность уровней воздухоприёмного устройства и верхнего оголовка ЛК:  $h_{oi} = 1,50 \text{ м}$

Потери давления в сети до верхнего оголовка ЛК:  $P_{ds} = 115,00 \text{ Па}$

## РАСЧЕТ

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ К}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 289,15 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Плотность воздуха в помещении

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,22 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Средняя температура воздуха в лестничной клетке

$$t_s = (t_a + t_r) / 2 = -4,50 \text{ °С}$$

$$T_s = t_s + 273,15 = 268,65 \text{ К}$$

Плотность воздуха в лестничной клетке

$$\rho_s = 353 / T_s = 1,31 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Ветровой напор в лестничной клетке

$$P_{wind} = 0,25 \cdot (K_{ww} - K_{w0}) \cdot \rho_a \cdot v_a^2 = 1,99 \text{ Па}$$

**Нормированное сопротивление воздухопроницанию оконных проемов согласно СНиП II 3-79**

Расчетная высота здания до уровня перекрытия верхнего этажа

$$H_{зд} = h_{(2)} + \Delta h_{нэ} \cdot (N_{нэ} - 1) = 55,60 \text{ м}$$

Удельный вес наружного воздуха

$$\gamma_a = 3463 / T_a = 13,96 \text{ Н}/\text{м}^3$$

Удельный вес внутреннего воздуха

$$\gamma_r = 3463 / T_r = 11,98 \text{ Н}/\text{м}^3$$

Нормированная разность давлений воздуха

$$\Delta p = 0,55 \cdot H_{зд} \cdot (\gamma_a - \gamma_r) + 0,03 \cdot \gamma_r \cdot v_a^2 = 61,95 \text{ Па}$$

Нормированное сопротивление воздухопроницанию

$$R_n = (1 / G_H) \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3} = 0,67 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}, \text{ где } \Delta p_0 = 10 \text{ Па}$$

Давление на уровне двери ЛК 2-го этажа

$$P_{s(2)} = 20 + P_{wind} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_s - \rho_r) = 16,87 \text{ Па}$$

Расход воздуха через наружный выход лестничной клетки

$$G_{sa} = \{2 \cdot \rho_s \cdot [20 + P_{wind} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_s - \rho_r) + 0,5 \cdot g \cdot h_{da} \cdot (\rho_a - \rho_s)] / [(n \cdot \xi_d + \xi_r + 1) / F_{da}^2 + \xi_s / F_s^2]\}^{1/2} = 4,73 \text{ кг/с}$$

**Расчётные зависимости давления и расхода воздуха на вышележащих этажах**

Давление воздуха в лестничной клетке, Па

$$P_{s(i+1)} = P_{s(i)} + 0,5 \cdot \xi_s \cdot \rho_s \cdot v_{s(i)}^2$$

Утечки через неплотности дверных проёмов

$$\Delta G_{sd(i+1)} = F_{d(i+1)} / S_d^{1/2} \cdot [P_{s(i+1)} + g \cdot (h_{(i+1)} + 0,5 \cdot h_{d(i+1)}) \cdot (\rho_s - \rho_r) - P_{wind}]^{1/2}$$

Утечки через неплотности оконных проёмов

$$\Delta G_{sw(i+1)} = (F_w / R_n / 3600) \cdot \{[P_{s(i+1)} + g \cdot (h_{(i+1)} + 0,5 \cdot h_{d(i+1)}) \cdot (\rho_s - \rho_r)] / 10\}^{2/3}$$

Расход воздуха в лестничной клетке, кг/с

$$G_{s(i+1)} = G_{s(i)} + \Delta G_{s(i+1)}$$

Скорость воздуха в лестничной клетке, м/с

$$v_{s(i)} = G_{s(i)} / (\rho_s \cdot F_s)$$

Объёмный расход вентилятора, м<sup>3</sup>/ч

$$L_v = 3600 \cdot \Sigma G_s / \rho_a$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям, Па

$$P_{sv} = 1,2 \cdot [P_s + g \cdot h_{sN} \cdot (\rho_a - \rho_s) + g \cdot h_{ol} \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_{ds}] / \rho_a$$

**Таблица 1. Давление и расходы воздуха по этажам**

Этаж	P, Па	ΔG <sub>двери</sub>	ΔG <sub>окна</sub>	G, кг/с	L <sub>v</sub> , м <sup>3</sup> /ч	P <sub>sv</sub> , Па
18	67,32	0,10	0,02	6,13	15524	209
17	63,28	0,10	0,02	6,02		
16	59,39	0,09	0,02	5,90		
15	55,64	0,09	0,02	5,79		
14	52,03	0,09	0,01	5,69		
13	48,55	0,08	0,01	5,58		
12	45,19	0,08	0,01	5,48		
11	41,95	0,08	0,01	5,39		
10	38,81	0,07	0,01	5,30		
9	35,78	0,07	0,01	5,21		
8	32,85	0,07	0,01	5,13		



7	30,00	0,06	0,01	5,05		
6	27,23	0,06	0,01	4,98		
5	24,54	0,06	0,01	4,91		
4	21,93	0,05	0,01	4,84		
3	19,37	0,05	0,01	4,78		
2	16,87			4,73		
1				4,73		



KBV

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП4о, ПП4з Зона безопасности МГН Секция 2 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в помещения зон безопасности

#### Характеристики здания

Число надземных этажей:  $N_{НЭ} = 17$

Число подземных этажей:  $N_{ПЭ} = 0$

Высота второго надземного этажа (от пола 1-го до пола 2-го):  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота вышележащих этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{НЭ} = 3,00$  м

Высота подземных этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{ПЭ} = 0,00$  м

#### Параметры воздуха

Температура наружного воздуха (без подогрева):  $t_a = -25,00$  °C

Температура воздуха в прилегающих помещениях (ЛШ, ЛК):  $t_{sl} = 16,00$  °C

Температура воздуха в защищаемых помещениях (с подогревом):  $t_r = 18,00$  °C

#### Параметры защищаемого помещения

на время эвакуации (одна открытая дверь, без подогрева)

Скорость воздуха через одну открытую дверь:  $v_r = 1,50$  м/с

Площадь двери:  $F_d = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота двери:  $h_d = 2,00$  м

#### Система приточной противодымной вентиляции

на время эвакуации (одна открытая дверь, без подогрева)

Уровень воздухоприёмного устройства отн. перекрытия верхнего этажа:  $h_0 = 1,00$  м

Потери давления в сети воздуховодов (для верхнего этажа):  $P_d = 1240,00$  Па

Удельные потери давления воздуховодов вертикального участка:  $P_h = 2,00$  Па/м

#### Параметры защищаемого помещения

на время пребывания в помещении (закрытые двери, с подогревом)

Количество дверей Д1:  $n_d = 2$

Площадь каждой двери Д1:  $F_d = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота каждой двери Д1:  $h_d = 2,00$  м

#### Система приточной противодымной вентиляции

на время пребывания в помещении (закрытые двери, с подогревом)

Уровень воздухоприёмного устройства отн. перекрытия верхнего этажа:  $h_0 = 2,00$  м

Потери давления в сети воздуховодов (для верхнего этажа):  $P_d = 140,00$  Па

Удельные потери давления воздуховодов вертикального участка:  $P_h = 0,60 \text{ Па/м}$

## РАСЧЕТ

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ К}$$

$$T_{sl} = t_{sl} + 273,15 = 289,15 \text{ К}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 291,15 \text{ К}$$

Плотность наружного воздуха (без подогрева)

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в прилегающих помещениях (ЛШ, ЛК)

$$\rho_{sl} = 353 / T_{sl} = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в защищаемых помещениях (с подогревом)

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Характеристика удельного сопротивления воздухопроницанию каждой двери Д1

$$S_d = 5300 / \rho_a = 3725,76 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Расход воздуха, подаваемого во время эвакуации

$$G_{sf \text{ э}} = v_r \cdot \rho_a \cdot F_d = 5,12 \text{ кг/с}$$

Расход воздуха, подаваемого во время пребывания в помещении

$$G_{sf \text{ п}} = n_d \cdot F_d \cdot (20 / S_d)^{1/2} = 0,35 \text{ кг/с}$$

**Расчётные зависимости давления воздуха на этажах**

Давление в защищаемых помещениях надземной части, Па

$$P_{sf(i)} = 20 - g \cdot (h_{(i)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_{sl} - \rho_r)$$

**Система приточной противодымной вентиляции  
на время эвакуации (открытые двери, без подогрева)**

Объёмный расход воздуха

$$L_v = v_r \cdot F_d \cdot 3600 = 12960 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = 1,2 \cdot [P_r + g \cdot h_0 \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_d + h_{нэ} \cdot P_h] / \rho_a = 1147 \text{ Па}$$

Давление, создаваемое вентилятором в помещении верхнего этажа

$$P_{\text{max}} = 21 \text{ Па}$$

**Система приточной противодымной вентиляции  
на время пребывания в помещении (закрытые двери, с подогревом)**

Объёмный расход воздуха

$$L_v = 3600 \cdot G_{sf \text{ п}} / \rho_r = 1044 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = 1,2 \cdot [P_r + g \cdot h_0 \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_d + h_{нэ} \cdot P_n] / \rho_r = 188 \text{ Па}$$

Давление, создаваемое вентилятором в помещении верхнего этажа

$$P_{max} = 54 \text{ Па}$$

Таблица 1. Давление в защищаемых помещениях на время эвакуации ( $t_{sf} = t_a$ )

Этаж	$P_{sf}$ , Па	$\Delta P$ , Па	$P_v$ , Па	$P_r$ , Па
17	120,12	1240,00	1145,69	21,05
16	114,19	1246,00	1145,74	20,99
15	108,25	1252,00	1145,80	20,93
14	102,32	1258,00	1145,85	20,86
13	96,38	1264,00	1145,91	20,80
12	90,44	1270,00	1145,96	20,74
11	84,51	1276,00	1146,01	20,67
10	78,57	1282,00	1146,07	20,61
9	72,63	1288,00	1146,12	20,54
8	66,70	1294,00	1146,17	20,48
7	60,76	1300,00	1146,23	20,42
6	54,83	1306,00	1146,28	20,35
5	48,89	1312,00	1146,34	20,29
4	42,95	1318,00	1146,39	20,23
3	37,02	1324,00	1146,44	20,16
2	31,08	1330,00	1146,50	20,10
1	21,98	1339,20	1146,58	20,00

Таблица 2. Давление в защищаемых помещениях на время пребывания ( $t_{sf} = t_r$ )

Этаж	$P_{sf}$ , Па	$\Delta P$ , Па	$P_v$ , Па	$P_r$ , Па
17	15,84	140,00	154,40	53,84
16	16,08	141,80	156,43	51,79
15	16,33	143,60	158,45	49,75
14	16,58	145,40	160,48	47,70
13	16,82	147,20	162,51	45,65
12	17,07	149,00	164,53	43,61
11	17,32	150,80	166,56	41,56
10	17,56	152,60	168,58	39,51
9	17,81	154,40	170,61	37,47
8	18,06	156,20	172,63	35,42
7	18,31	158,00	174,66	33,37
6	18,55	159,80	176,69	31,33
5	18,80	161,60	178,71	29,28
4	19,05	163,40	180,74	27,23
3	19,29	165,20	182,76	25,19
2	19,54	167,00	184,79	23,14
1	19,92	169,76	187,90	20,00

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП6 лифт режим ПО Секция 2 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в лифтовую шахту

#### Условия:

Надземная лифтовая шахта.

Лифтовая шахта центрального ядра надземной части.

Без выгороженного лифтового холла на основном посадочном этаже.

Выгороженные лифтовые холлы на вышележащих надземных этажах.

#### Характеристики здания

Число надземных этажей:  $N_{НЭ} = 17$

Отметка уровня второго этажа (от пола 1-го до пола 2-го):  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота вышележащих этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{НЭ} = 3,00$  м

#### Характеристики лифтовой шахты

Нижний обслуживаемый этаж:  $НЭ_{Н} = 0$

Верхний обслуживаемый этаж:  $НЭ_{В} = 0$

Площадь дверей лифтовой шахты:  $F_{dl} = 1,68$  м<sup>2</sup>

Площадь дверей лифтовых холлов:  $F_{dr} = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота дверей лифтовой шахты:  $h_{dl} = 2,00$  м

Количество кабин лифтов в шахте:  $n = 1$

Количество дверей каждого лифтового холла:  $m = 2$

Площадь поперечного сечения кабины лифта по внешнему контуру ограждений:  $F_{lc} = 1,86$  м<sup>2</sup>

Площадь поперечного сечения шахты лифта по внутреннему контуру ограждений:  $F_{ls} = 2,98$  м<sup>2</sup>

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтовой шахты:  $S_{dl} = 2500,00$  м<sup>3</sup>/кг

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтового холла:  $S_{dr} = 4600,00$  м<sup>3</sup>/кг

#### Параметры воздуха

Температура наружного воздуха:  $t_a = -25,00$  °C

Температура воздуха в лифтовой шахте:  $t_l = 16,00$  °C

Температура воздуха во внутренних помещениях:  $t_r = 18,00$  °C

#### Система приточной противодымной вентиляции

Разность уровней воздухоприёмного устройства и верхнего оголовка ЛШ:  $h_{os} = 1,50$  м

Потери давления в сети до верхнего оголовка ЛШ:  $P_{dl} = 184,00$  Па

Избыточное давление в надземной части ЛШ:  $P_{20H} = 20,00$  Па

## РАСЧЕТ

КМС узла "кабина-шахта" при открытых дверях

$$\xi_I = 4,3 + F_{lc} / F_{ls} = 4,92$$

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ K}$$

$$T_I = t_I + 273,15 = 289,15 \text{ K}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 291,15 \text{ K}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в лифтовой шахте

$$\rho_I = 353 / T_I = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха во внутренних помещениях

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Характеристика сопротивления дверей надземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 1085,42 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Характеристика сопротивления дверей подземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 1085,42 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Давление в надземной части лифтовой шахты

$$P_{I(2)} = P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_I - \rho_r) = 19,54 \text{ Па}$$

Расход воздуха в открытых проёмах шахты на 1-м этаже, поступающего сверху

$$G_{I(2)} = \{ 2 \cdot \rho_I \cdot [P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_I - \rho_r) + 0,5 \cdot g \cdot h_{dl} \cdot (\rho_a - \rho_I)] / [\xi_I / (n \cdot F_{dl})^2] \}^{1/2} = 5,49 \text{ кг/с}$$

Расчётные зависимости давления и расхода воздуха на этажах

Давление, Па

$$P_{I(i)} = P_{I(2)}; \quad P_{I(-n)} = P_{I(-1)}$$

Утечки через неплотности в верхней части ЛШ, кг/с

$$\Delta G_{I(i)} = \{ [P_{I(i)} + g \cdot (h_{(i)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_s - \rho_r)] / S_{lr(i)} \}^{1/2} = 2,27 \text{ кг/с}$$

Приток в верхнюю часть лифтовой шахты

Массовый расход воздуха

$$G_L = 8 \text{ кг/с}$$

Давление в оголовке ЛШ

$$P_L = 24 \text{ Па}$$

Объёмный расход вентилятора

$$L_v = 3600 \cdot G_L / \rho_a = 19631 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = (1,2 / \rho_a) \cdot [P_L + g \cdot h_{IN} \cdot (\rho_a - \rho_l) + g \cdot h_{0s} \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_{dl}] = 273 \text{ Па}$$

Расход и скорость воздуха в открытых проёмах на первом этаже

Расход в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$L_{\text{холл1э}} = 6944 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$V_{\text{холл1э}} = 1,15 \text{ м/с}$$

Расход в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$L_{\text{лифт1э}} = 13888 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$V_{\text{лифт1э}} = 2,30 \text{ м/с}$$

Таблица 1. Давление и расходы воздуха на этажах

Этаж	h, м	P <sub>г</sub> , Па	P <sub>л</sub> , Па	ΔG, кг/с	G, кг/с
17	49,60	4,16	23,70	0,148	7,609
16	46,60	3,92	23,46	0,147	7,462
15	43,60	3,67	23,21	0,146	7,316
14	40,60	3,42	22,96	0,145	7,171
13	37,60	3,18	22,71	0,145	7,026
12	34,60	2,93	22,47	0,144	6,882
11	31,60	2,68	22,22	0,143	6,739
10	28,60	2,44	21,97	0,142	6,597
9	25,60	2,19	21,73	0,141	6,455
8	22,60	1,94	21,48	0,141	6,315
7	19,60	1,69	21,23	0,14	6,175
6	16,60	1,45	20,99	0,139	6,036
5	13,60	1,20	20,74	0,138	5,897
4	10,60	0,95	20,49	0,137	5,76
3	7,60	0,71	20,25	0,137	5,623
2	4,60	0,46	20,00	0,136	5,488
1	0,00	0,08			5,488

Программа "КВМ-Дым" разработана на основании  
Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013 (Расчётное определение  
основных параметров противодымной вентиляции зданий, ВНИИПО, 2013).

Разработчик - ООО «Производственное объединение КВМ», 4/21.02.

Программа предназначена для расчёта основных параметров противодымной вентиляции  
зданий различного назначения - жилых и общественных, производственных и складских, а также  
многофункциональных зданий и комплексов, закрытых подземных и надземных автостоянок.

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ПП10 лифт для ППП Секция 2 МИФИ Москворечье

Вариант: Подача воздуха в лифтовую шахту

#### Условия:

Надземная лифтовая шахта.

Лифтовая шахта центрального ядра надземной части.

Выгороженный лифтовой холл на основном посадочном этаже.

Выгороженные лифтовые холлы на вышележащих надземных этажах.

#### Характеристики здания

Число надземных этажей:  $N_{НЭ} = 17$

Отметка уровня второго этажа (от пола 1-го до пола 2-го):  $h_{(2)} = 4,60$  м

Высота вышележащих этажей (от пола до пола):  $\Delta h_{НЭ} = 3,00$  м

#### Характеристики лифтовой шахты

Нижний обслуживаемый этаж:  $НЭ_{Н} = 0$

Верхний обслуживаемый этаж:  $НЭ_{В} = 0$

Площадь дверей лифтовой шахты:  $F_{dl} = 2,00$  м<sup>2</sup>

Площадь дверей лифтовых холлов:  $F_{dr} = 2,40$  м<sup>2</sup>

Высота дверей лифтовой шахты:  $h_{dl} = 2,00$  м

Количество кабин лифтов в шахте:  $n = 1$

Количество дверей каждого лифтового холла:  $m = 2$

Площадь поперечного сечения кабины лифта по внешнему контуру ограждений:  $F_{lc} = 3,18$  м<sup>2</sup>

Площадь поперечного сечения шахты лифта по внутреннему контуру ограждений:  $F_{ls} = 4,69$  м<sup>2</sup>

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтовой шахты:  $S_{dl} = 2200,00$  м<sup>3</sup>/кг

Сопrotивление воздухопроницанию дверей лифтового холла:  $S_{dr} = 4800,00$  м<sup>3</sup>/кг

КМС проема дверей выгороженного лифтового холла на основном посадочном этаже:  $\xi_d = 2,44$

#### Параметры воздуха

Температура наружного воздуха:  $t_a = -25,00$  °С

Температура воздуха в лифтовой шахте:  $t_l = 16,00$  °С

Температура воздуха во внутренних помещениях:  $t_r = 18,00$  °С

#### Система приточной противодымной вентиляции

Разность уровней воздухоприёмного устройства и верхнего оголовка ЛШ:  $h_{os} = 1,50$  м

Потери давления в сети до верхнего оголовка ЛШ:  $P_{dl} = 240,00$  Па

Избыточное давление в надземной части ЛШ:  $P_{20H} = 20,00$  Па



## РАСЧЕТ

КМС узла "кабина-шахта" при открытых дверях

$$\xi_l = 4,3 + F_{lc} / F_{ls} = 4,98$$

$$T_a = t_a + 273,15 = 248,15 \text{ K}$$

$$T_l = t_l + 273,15 = 289,15 \text{ K}$$

$$T_r = t_r + 273,15 = 291,15 \text{ K}$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_a = 353 / T_a = 1,42 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в лифтовой шахте

$$\rho_l = 353 / T_l = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха во внутренних помещениях

$$\rho_r = 353 / T_r = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Характеристика сопротивления дверей надземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 758,33 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Характеристика сопротивления дверей подземной части ЛШ

$$S_{dir} = S_{dl} / (n \cdot F_{dl})^2 + S_{dr} / (m \cdot F_{dr})^2 = 758,33 \text{ 1/(кг}\cdot\text{м)}$$

Давление в надземной части лифтовой шахты

$$P_{l(2)} = P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_l - \rho_r) = 19,54 \text{ Па}$$

Расход воздуха в открытых проёмах шахты на 1-м этаже, поступающего сверху

$$G_{l(2)} = \left\{ 2 \cdot \rho_l \cdot [P_{20H} - g \cdot (h_{(2)} + 0,5 \cdot h_d) \cdot (\rho_l - \rho_r) + 0,5 \cdot g \cdot h_{dl} \cdot (\rho_a - \rho_l)] / \right. \\ \left. [\xi_l / (n \cdot F_{dl})^2 + (\xi_d + 1) / (m \cdot F_{dr})^2] \right\}^{1/2} = 6,14 \text{ кг/с}$$

**Расчётные зависимости давления и расхода воздуха на этажах**

Давление, Па

$$P_{l(i)} = P_{l(2)}; \quad P_{l(-n)} = P_{l(-1)}$$

Утечки через неплотности в верхней части ЛШ, кг/с

$$\Delta G_{l(i)} = \left\{ [P_{l(i)} + g \cdot (h_{(i)} + 0,5 \cdot h_{dl}) \cdot (\rho_s - \rho_r)] / S_{l(i)} \right\}^{1/2} = 2,72 \text{ кг/с}$$

**Приток в верхнюю часть лифтовой шахты**

Массовый расход воздуха

$$G_L = 9 \text{ кг/с}$$

Давление в оголовке ЛШ

$$P_L = 24 \text{ Па}$$

Объёмный расход вентилятора

$$L_V = 3600 \cdot G_L / \rho_a = 22407 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{sv} = (1,2 / \rho_a) \cdot [P_L + g \cdot h_{IN} \cdot (\rho_a - \rho_l) + g \cdot h_{0s} \cdot (\rho_a - \rho_r) + P_{dl}] = 319 \text{ Па}$$

**Расход и скорость воздуха в открытых проёмах на первом этаже**

Расход в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$L_{холл1э} = 7768 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме лифтового холла 1-го этажа

$$V_{холл1э} = 1,08 \text{ м/с}$$

Расход в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$L_{лифт1э} = 15536 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость в открытом проёме ЛШ 1-го этажа

$$V_{лифт1э} = 2,16 \text{ м/с}$$

**Таблица 1. Давление и расходы воздуха на этажах**

Этаж	h, м	P <sub>g</sub> , Па	P <sub>L</sub> , Па	ΔG, кг/с	G, кг/с
17	49,60	4,16	23,70	0,177	8,677
16	46,60	3,92	23,46	0,176	8,502
15	43,60	3,67	23,21	0,175	8,327
14	40,60	3,42	22,96	0,174	8,153
13	37,60	3,18	22,71	0,173	7,979
12	34,60	2,93	22,47	0,172	7,807
11	31,60	2,68	22,22	0,171	7,636
10	28,60	2,44	21,97	0,17	7,466
9	25,60	2,19	21,73	0,169	7,297
8	22,60	1,94	21,48	0,168	7,128
7	19,60	1,69	21,23	0,167	6,961
6	16,60	1,45	20,99	0,166	6,795
5	13,60	1,20	20,74	0,165	6,629
4	10,60	0,95	20,49	0,164	6,465
3	7,60	0,71	20,25	0,163	6,302
2	4,60	0,46	20,00	0,162	6,139
1	0,00	0,08			6,139

## Секция1 Аэродинамический расчет

ВД1													
№	L,м3/ч	lуч,м	KMC	D,mm	F,м2	Vф,м/с	Re	Kэ,mm	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	16540	1	2,2	652,2	0,334	13,758	575192	0,11	0,014	2,5445	255	257,6	
2	16540	2	0,8	898,9	0,634	7,2441	417381	0,11	0,014	0,5112	25,71	26,74	
3	16540	2,5	1,4	898,9	0,634	7,2441	417381	0,11	0,014	0,5112	45	46,28	330,61

1 этаж 16360  
тип.жтз 16540

№	A	B	DэKB
2	0,7	0,5	652,24
1	0,813	0,813	898,85
2	0,813	0,813	898,85

ПП1 лестничная клетка													
№	L,м3/ч	lуч,м	KMC	D,mm	F,м2	Vф,м/с	Re	Kэ,mm	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	15524	0,5	3,8	884,5	0,614	7,0219	398109	0,11	0,014	0,4923	114,8	115	115,01

№	A	B	DэKB
1	0,8	0,8	884,48

ПП3о зона МГН открытая дверь													
№	L,м3/ч	lуч,м	KMC	D,mm	F,м2	Vф,м/с	Re	Kэ,mm	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	12960	3	2,7	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	317,4	326,5	
2	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
3	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
4	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
5	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
6	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
7	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
8	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
9	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
10	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
11	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
12	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
13	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
14	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
15	12960	2,45	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	25,03	
16	12960	1,3	0,8	630	0,312	11,555	466606	0,11	0,015	1,9101	65,42	67,9	
17	12960	2,45	3,2	630	0,312	11,555	466606	0,11	0,015	1,9101	261,7	266,4	1239,2

№	A	B	DэKB
1	0,75	0,37	575,33
2	0,75	0,37	575,33
3	0,75	0,37	575,33
4	0,75	0,37	575,33
5	0,75	0,37	575,33
6	0,75	0,37	575,33
7	0,75	0,37	575,33
8	0,75	0,37	575,33
9	0,75	0,37	575,33
10	0,75	0,37	575,33
11	0,75	0,37	575,33
12	0,75	0,37	575,33

13	0,75	0,37	575,33
14	0,75	0,37	575,33
15	0,75	0,37	575,33
16			630
17			630

ППЗз зона МГН закрытая дверь													
№	L,м3/ч	луч,м	КМС	D,мм	F,м2	Vф,м/с	Re	Кэ,мм	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	1044	3	2,7	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	35,83	38,72	
2	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
3	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
4	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
5	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
6	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
7	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
8	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
9	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
10	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
11	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
12	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
13	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
14	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
15	1044	2,45	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,353	
16	1044	1,3	0,8	425,4	0,142	2,041	55660	0,11	0,022	0,1294	2,041	2,209	
17	1044	2,45	3,2	425,4	0,142	2,041	55660	0,11	0,022	0,1294	8,165	8,482	140,71

№	A	B	Dэкв
1	0,18	0,37	281,72
2	0,18	0,37	281,72
3	0,18	0,37	281,72
4	0,18	0,37	281,72
5	0,18	0,37	281,72
6	0,18	0,37	281,72
7	0,18	0,37	281,72
8	0,18	0,37	281,72
9	0,18	0,37	281,72
10	0,18	0,37	281,72
11	0,18	0,37	281,72
12	0,18	0,37	281,72
13	0,18	0,37	281,72
14	0,18	0,37	281,72
15	0,18	0,37	281,72
16	0,5	0,3	425,44
17	0,5	0,3	425,44

ПП5 подпор в пассажирский лифт													
№	L,м3/ч	луч,м	КМС	D,мм	F,м2	Vф,м/с	Re	Кэ,мм	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	19631	1,5	3,8	884,5	0,614	8,8796	503432	0,11	0,014	0,7623	183,5	184,7	184,66

№	A	B	Dэкв
1	0,8	0,8	884,48

ПП7 компенсация расхода удаляемого дыма												
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

№	L, м3/ч	l <sub>уч</sub> , м	KMC	D, мм	F, м2	V <sub>ф</sub> , м/с	Re	Kэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	8000	3,94	2,7	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	121	125,8	
2	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
3	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
4	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
5	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
6	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
7	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
8	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
9	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
10	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
11	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
12	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
13	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
14	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
15	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
16	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
17	8000	3,45	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,64	
18	8000	2	0,8	663,4	0,345	6,4331	273544	0,11	0,016	0,5997	20,28	21,48	
19	8000	2	0,8	630	0,312	7,1324	288028	0,11	0,016	0,7745	24,93	26,48	
20	8000	2,5	3,2	630	0,312	7,1324	288028	0,11	0,016	0,7745	99,71	101,6	659,19

№	A	B	Dэкв
1	0,75	0,37	575,33
2	0,75	0,37	575,33
3	0,75	0,37	575,33
4	0,75	0,37	575,33
5	0,75	0,37	575,33
6	0,75	0,37	575,33
7	0,75	0,37	575,33
8	0,75	0,37	575,33
9	0,75	0,37	575,33
10	0,75	0,37	575,33
11	0,75	0,37	575,33
12	0,75	0,37	575,33
13	0,75	0,37	575,33
14	0,75	0,37	575,33
15	0,75	0,37	575,33
16	0,75	0,37	575,33
17	0,75	0,37	575,33
18	0,6	0,6	663,36
19			630
20			630

ПП9 подпор в лифт с режимом перевозка пожарных подразделений

№	L, м3/ч	l <sub>уч</sub> , м	KMC	D, мм	F, м2	V <sub>ф</sub> , м/с	Re	Kэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	22407	1,5	3,8	884,5	0,614	10,135	574622	0,11	0,014	0,9767	239,1	240,6	240,56

№	A	B	Dэкв
1	0,8	0,8	884,48

## Секция 2 Аэродинамический расчет

ВД2													
№	L, м3/ч	луч, м	КМС	D, мм	F, м2	Vф, м/с	Re	Кэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	15334	1	2,2	652,2	0,334	12,755	533253	0,11	0,014	2,2045	219,2	221,4	
2	15334	2	0,8	898,9	0,634	6,7159	386948	0,11	0,014	0,4442	22,1	22,99	
3	15334	2,5	1,4	898,9	0,634	6,7159	386948	0,11	0,014	0,4442	38,68	39,79	284,19

1 этаж 15106  
тип. жта 15334

№	A	B	Dэкв
2	0,7	0,5	652,24
1	0,813	0,813	898,85
2	0,813	0,813	898,85

ПП2 лестничная клетка													
№	L, м3/ч	луч, м	КМС	D, мм	F, м2	Vф, м/с	Re	Кэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	15524	0,5	3,8	884,5	0,614	7,0219	398109	0,11	0,014	0,4923	114,8	115	115,01

№	A	B	Dэкв
1	0,8	0,8	884,48

ПП4о зона МГН открытая дверь													
№	L, м3/ч	луч, м	КМС	D, мм	F, м2	Vф, м/с	Re	Кэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	12960	3	2,7	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	317,4	326,5	
2	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
3	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
4	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
5	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
6	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
7	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
8	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
9	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
10	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
11	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
12	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
13	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
14	12960	3	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	26,69	
15	12960	2,45	0,15	575,3	0,26	13,855	510944	0,11	0,015	3,0165	17,64	25,03	
16	12960	1,3	0,8	630	0,312	11,555	466606	0,11	0,015	1,9101	65,42	67,9	
17	12960	2,45	3,2	630	0,312	11,555	466606	0,11	0,015	1,9101	261,7	266,4	1239,2

№	A	B	Dэкв
1	0,75	0,37	575,33
2	0,75	0,37	575,33
3	0,75	0,37	575,33
4	0,75	0,37	575,33
5	0,75	0,37	575,33
6	0,75	0,37	575,33
7	0,75	0,37	575,33
8	0,75	0,37	575,33
9	0,75	0,37	575,33
10	0,75	0,37	575,33
11	0,75	0,37	575,33
12	0,75	0,37	575,33

13	0,75	0,37	575,33
14	0,75	0,37	575,33
15	0,75	0,37	575,33
16			630
17			630

ПП4з зона МГН закрытая дверь													
№	L,м3/ч	луч,м	КМС	D,мм	F,м2	Vф,м/с	Re	Кэ,мм	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	1044	3	2,7	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	35,83	38,72	
2	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
3	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
4	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
5	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
6	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
7	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
8	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
9	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
10	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
11	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
12	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
13	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
14	1044	3	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,884	
15	1044	2,45	0,15	281,7	0,062	4,6548	84056	0,11	0,02	0,9643	1,991	4,353	
16	1044	1,3	0,8	425,4	0,142	2,041	55660	0,11	0,022	0,1294	2,041	2,209	
17	1044	2,45	3,2	425,4	0,142	2,041	55660	0,11	0,022	0,1294	8,165	8,482	140,71

№	A	B	Dэкв
1	0,18	0,37	281,72
2	0,18	0,37	281,72
3	0,18	0,37	281,72
4	0,18	0,37	281,72
5	0,18	0,37	281,72
6	0,18	0,37	281,72
7	0,18	0,37	281,72
8	0,18	0,37	281,72
9	0,18	0,37	281,72
10	0,18	0,37	281,72
11	0,18	0,37	281,72
12	0,18	0,37	281,72
13	0,18	0,37	281,72
14	0,18	0,37	281,72
15	0,18	0,37	281,72
16	0,5	0,3	425,44
17	0,5	0,3	425,44

ПП6 подпор в пассажирский лифт													
№	L,м3/ч	луч,м	КМС	D,мм	F,м2	Vф,м/с	Re	Кэ,мм	λ	R,Па/м	Z,Па/м	ΔP,Па	ΣΔP,Па
1	19631	1,5	3,8	884,5	0,614	8,8796	503432	0,11	0,014	0,7623	183,5	184,7	184,66

№	A	B	Dэкв
1	0,8	0,8	884,48

ПП8 компенсация расхода удаляемого дыма													
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

№	L, м3/ч	l <sub>уч</sub> , м	KMC	D, мм	F, м2	V <sub>ф</sub> , м/с	Re	Kэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	8000	3,94	2,7	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	121	125,8	
2	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
3	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
4	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
5	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
6	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
7	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
8	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
9	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
10	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
11	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
12	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
13	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
14	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
15	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
16	8000	3	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,09	
17	8000	3,45	0,3	575,3	0,26	8,5523	315397	0,11	0,016	1,2164	13,44	17,64	
18	8000	2	0,8	663,4	0,345	6,4331	273544	0,11	0,016	0,5997	20,28	21,48	
19	8000	2	0,8	630	0,312	7,1324	288028	0,11	0,016	0,7745	24,93	26,48	
20	8000	2,5	3,2	630	0,312	7,1324	288028	0,11	0,016	0,7745	99,71	101,6	659,19

№	A	B	Dэкв
1	0,75	0,37	575,33
2	0,75	0,37	575,33
3	0,75	0,37	575,33
4	0,75	0,37	575,33
5	0,75	0,37	575,33
6	0,75	0,37	575,33
7	0,75	0,37	575,33
8	0,75	0,37	575,33
9	0,75	0,37	575,33
10	0,75	0,37	575,33
11	0,75	0,37	575,33
12	0,75	0,37	575,33
13	0,75	0,37	575,33
14	0,75	0,37	575,33
15	0,75	0,37	575,33
16	0,75	0,37	575,33
17	0,75	0,37	575,33
18	0,6	0,6	663,36
19			630
20			630

ПП10 подпор в лифт с режимом перевозка пожарных подразделений

№	L, м3/ч	l <sub>уч</sub> , м	KMC	D, мм	F, м2	V <sub>ф</sub> , м/с	Re	Kэ, мм	λ	R, Па/м	Z, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
1	22407	1,5	3,8	884,5	0,614	10,135	574622	0,11	0,014	0,9767	239,1	240,6	240,56

№	A	B	Dэкв
1	0,8	0,8	884,48



Схема ДУ1, ДУ2

Схема ПП1, ПП2

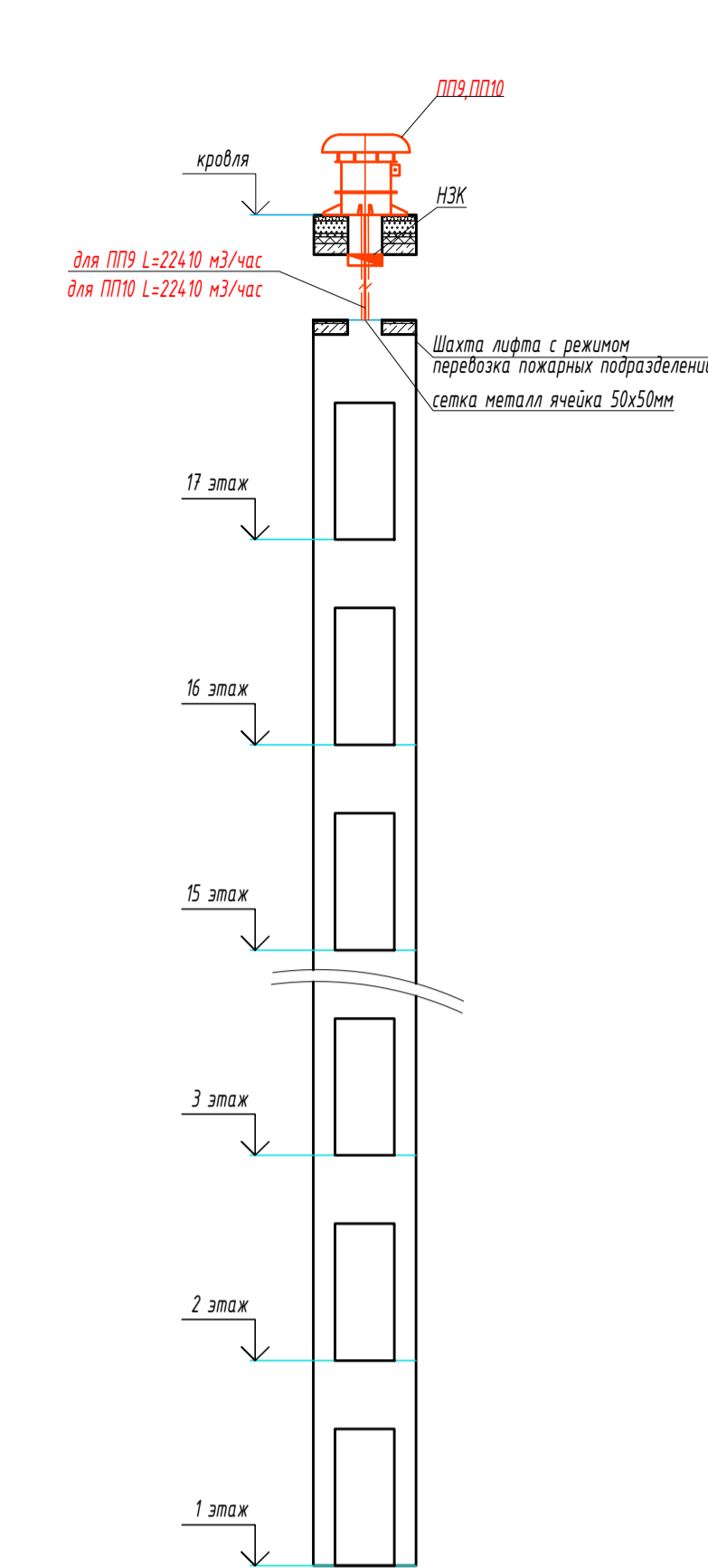
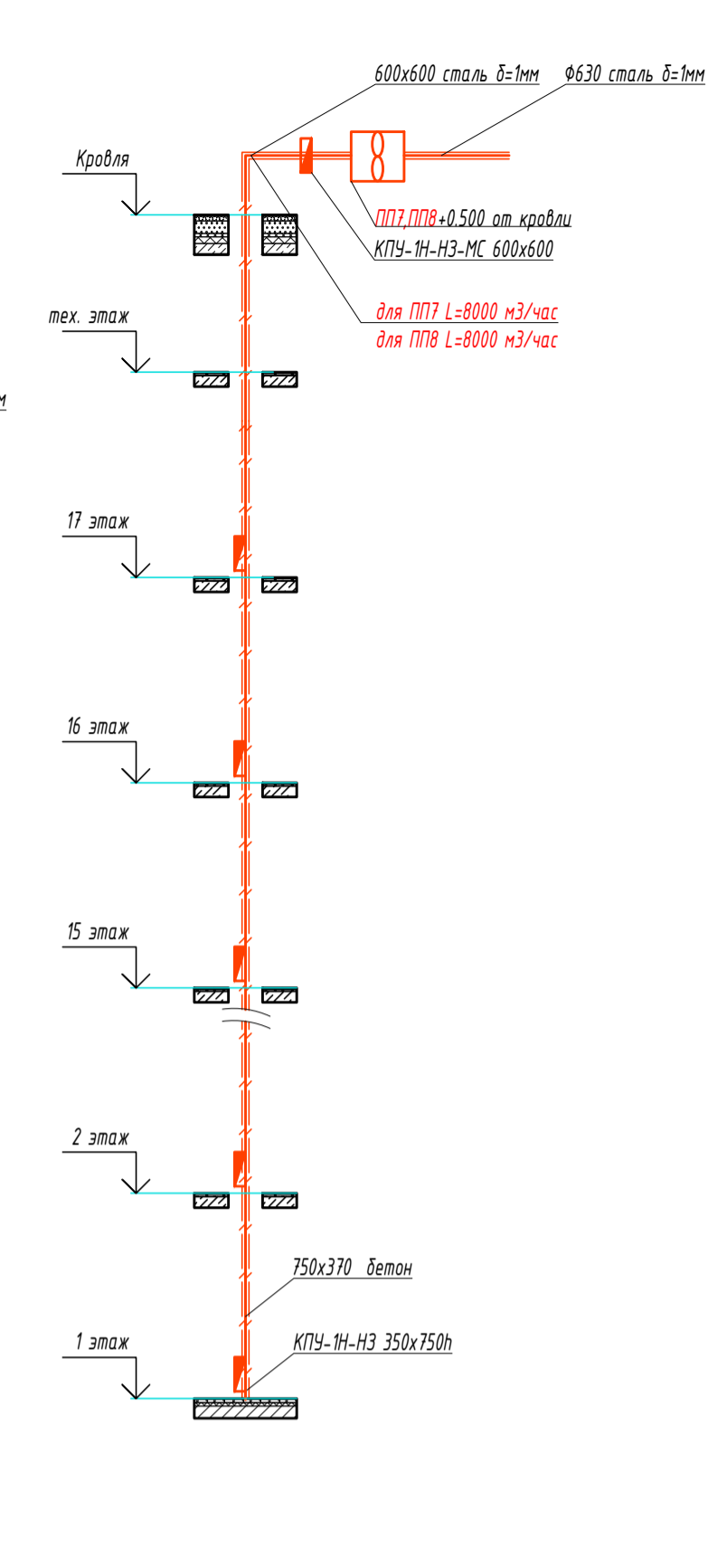
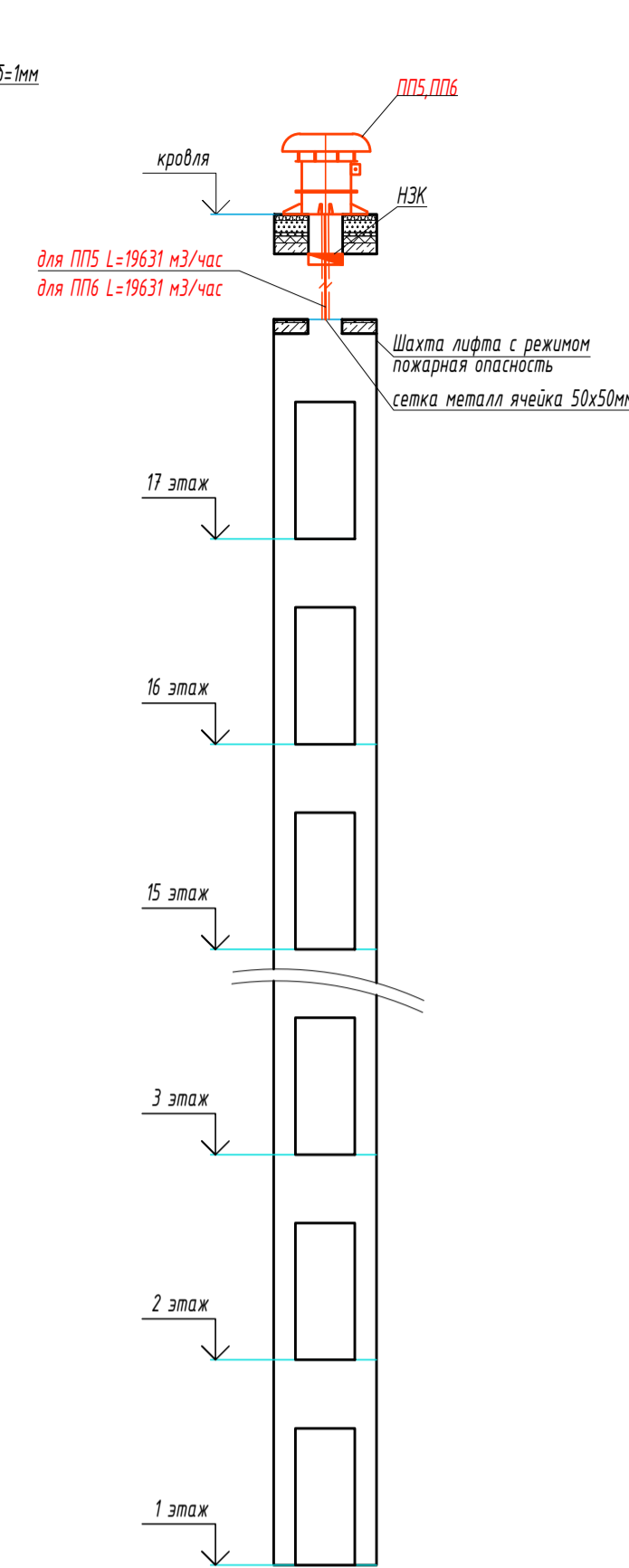
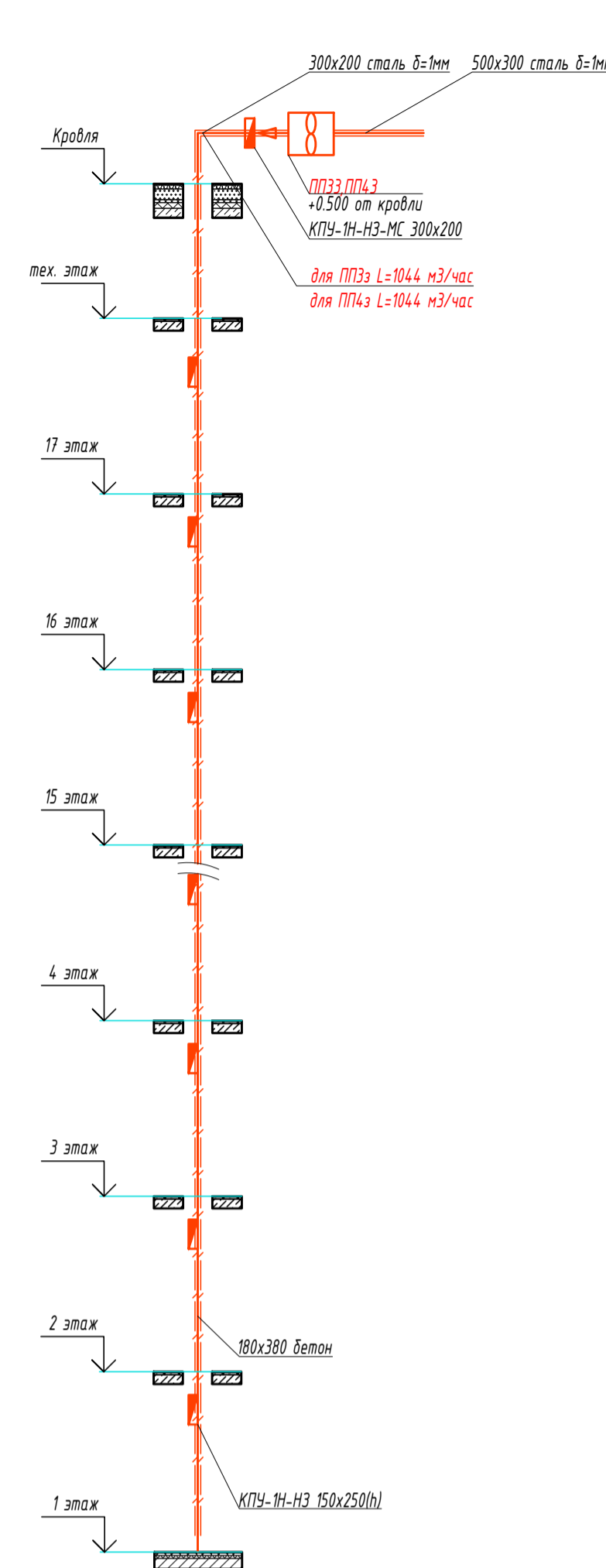
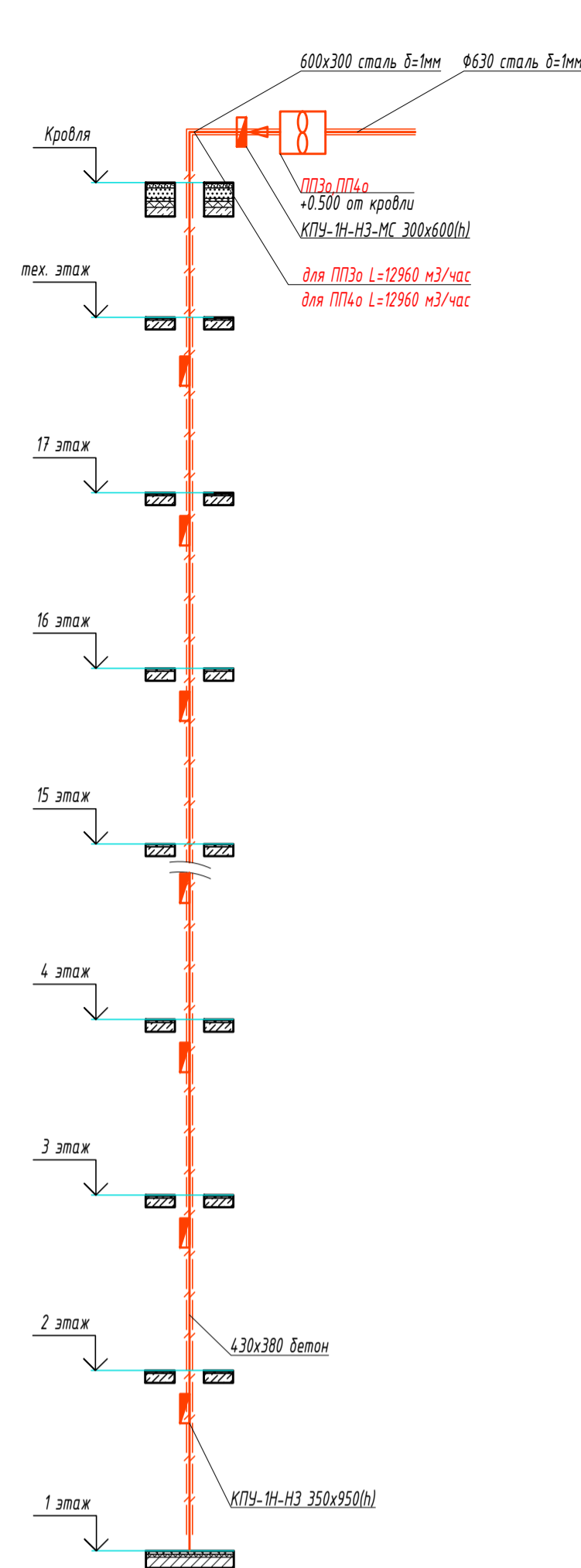
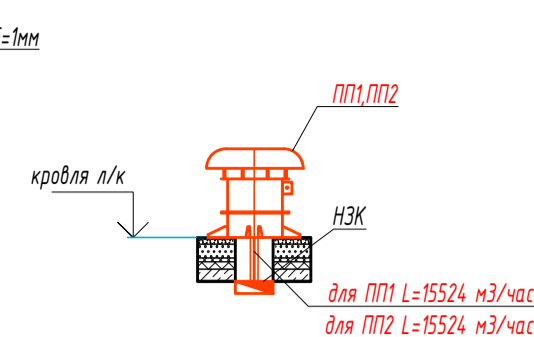
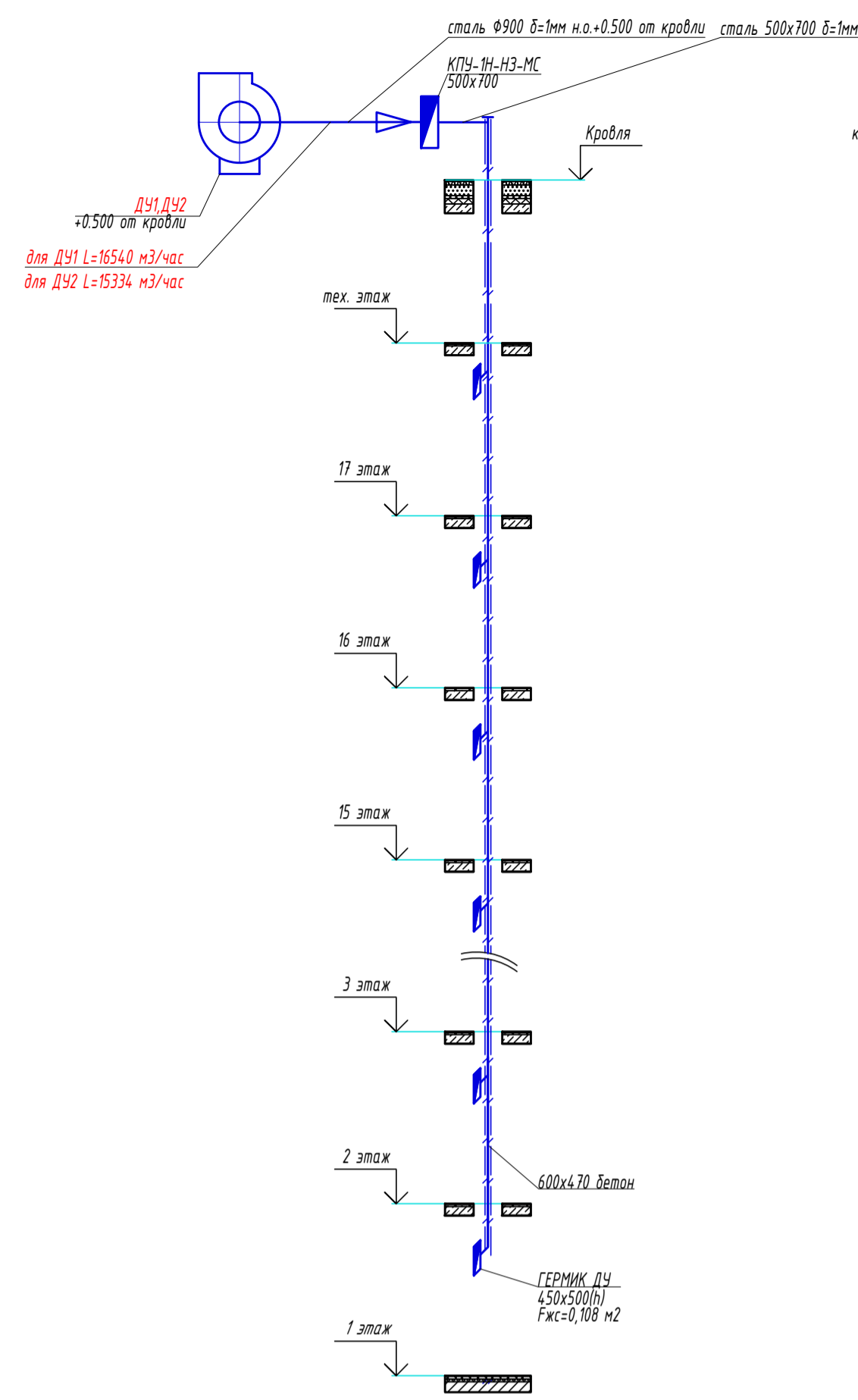
Схема ПП3, ПП4

Схема ПП3, ПП4, 3

Схема ПП5, ПП6

Схема ПП7, ПП8

Схема ПП9, ПП10



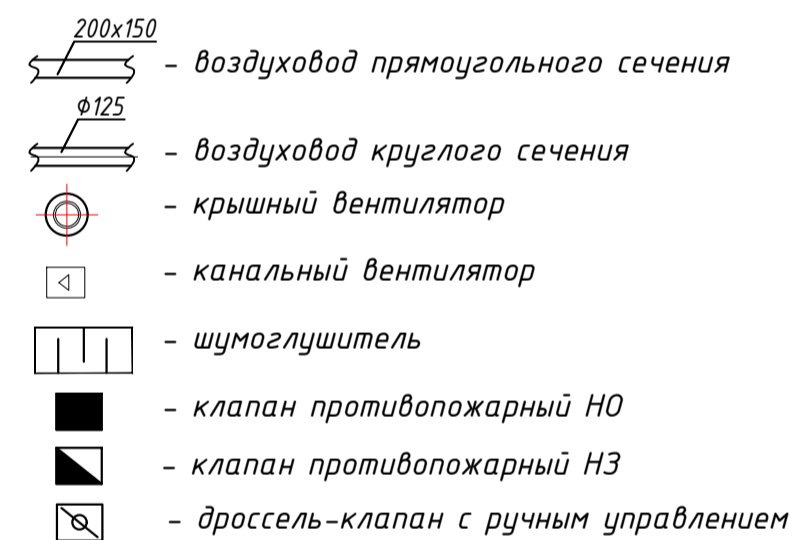
ХОВС по проекту

Обозначение системы	Кол-во систем	Наименование обслуживаемого помещения (технологического оборудования)	Вентилятор				Электродвигатель			Воздуонагреватель			Воздухоохладитель			Фильтр		Примечания					
			Тип, исполнение	Номер	L*1,10 м³/ч	P, Па	Тип, исполнение по взрывозащите	N, кВт	n, об/мин	Тип	Температура нагрева, °C		Расход тепла, кВт	Тип	Температура охлаждения, °C		Расход холода, кВт		Тип	Кол	Δ P, кгс/м²	Концентрация, мг/м³	
											от	до			от	до						начальная	конечная
ПП 1	1	Подпор воздуха в лестницу Н2 с.1	ВКОП-0	080	33500	500																ООО "ВЕЗА"	
ПП 2	1	Подпор воздуха в лестницу Н2 с.2	ВКОП-0	080	33500	500																ООО "ВЕЗА"	
ПП 3о	1	Жилая часть (Подпор в зону МГН)	ОСА-301-063	-	13100	400																ООО "ВЕЗА"	
ПП 3з		Канал-ПКВ-50-30-4-380 Канал-ЭКВ-50-30-17-380			1200	400																ООО "ВЕЗА"	
ПП 4о	1	Жилая часть (Подпор в зону МГН)	ОСА-301-063	-	13100	400																ООО "ВЕЗА"	
ПП 4з		Канал-ПКВ-50-30-4-380 Канал-ЭКВ-50-30-17-380			1200	400																ООО "ВЕЗА"	
ПП 5	1	Подпор воздуха в пассажирский лифт 1сек.	ВКОП-0	063	12960	600																ООО "ВЕЗА"	
ПП 6	1	Подпор воздуха в пассажирский лифт 2сек.	ВКОП-0	063	12960	600																ООО "ВЕЗА"	
ПП 7	1	Подпор воздуха компенсация 1сек.	ОСА-301-063	063	11900	600																ООО "ВЕЗА"	
ПП 8	1	Подпор воздуха компенсация 2сек.	ОСА-301-063	063	11900	600																ООО "ВЕЗА"	
ПП 9	1	Подпор в лифт для перевозки ПП1 сек.	ВКОП-0	063	17000	600																ООО "ВЕЗА"	
ПП 10	1	Подпор в лифт для перевозки ПП 2сек.	ВКОП-0	063	17000	600																ООО "ВЕЗА"	
ДУ 1	1	Дымоудаление из коридора 1 секц.	ВРАН 9-ДУ	090	25800	850																ООО "ВЕЗА"	
ДУ2	1	Дымоудаление из коридора 2 секц.	ВРАН 9-ДУ	090	25800	850																ООО "ВЕЗА"	

ХОВС перерасчет

Обозначение системы	Кол-во систем	Наименование обслуживаемого помещения (технологического оборудования)	Вентилятор				Электродвигатель			Воздуонагреватель			Воздухоохладитель			Фильтр		Примечания					
			Тип, исполнение	Номер	L*1,10 м³/ч	P, Па	Тип, исполнение по взрывозащите	N, кВт	n, об/мин	Тип	Температура нагрева, °C		Расход тепла, кВт	Тип	Температура охлаждения, °C		Расход холода, кВт		Тип	Кол	Δ P, кгс/м²	Концентрация, мг/м³	
											от	до			от	до						начальная	конечная
ПП 1	1	Подпор воздуха в лестницу Н2 с.1	ВКОП-0	080	15524	209																ООО "ВЕЗА"	
ПП 2	1	Подпор воздуха в лестницу Н2 с.2	ВКОП-0	080	15524	209																ООО "ВЕЗА"	
ПП 3о	1	Жилая часть (Подпор в зону МГН)	ОСА-301-063	-	12960	1147																ООО "ВЕЗА"	
ПП 3з		Канал-ПКВ-50-30-4-380 Канал-ЭКВ-50-30-17-380			1044	188																ООО "ВЕЗА"	
ПП 4о	1	Жилая часть (Подпор в зону МГН)	ОСА-301-063	-	12960	1147																ООО "ВЕЗА"	
ПП 4з		Канал-ПКВ-50-30-4-380 Канал-ЭКВ-50-30-17-380			1044	188																ООО "ВЕЗА"	
ПП 5	1	Подпор воздуха в пассажирский лифт 1сек.	ВКОП-0	063	19631	273																ООО "ВЕЗА"	
ПП 6	1	Подпор воздуха в пассажирский лифт 2сек.	ВКОП-0	063	19631	273																ООО "ВЕЗА"	
ПП 7	1	Подпор воздуха компенсация 1сек.	ОСА-301-063	063	8000	659																ООО "ВЕЗА"	
ПП 8	1	Подпор воздуха компенсация 2сек.	ОСА-301-063	063	8000	659																ООО "ВЕЗА"	
ПП 9	1	Подпор в лифт для перевозки ПП1 сек.	ВКОП-0	063	22410	319																ООО "ВЕЗА"	
ПП 10	1	Подпор в лифт для перевозки ПП 2сек.	ВКОП-0	063	22410	319																ООО "ВЕЗА"	
ДУ 1	1	Дымоудаление из коридора 1 секц.	ВРАН 9-ДУ	090	16540	3702																ООО "ВЕЗА"	
ДУ2	1	Дымоудаление из коридора 2 секц.	ВРАН 9-ДУ	090	15334	3228																ООО "ВЕЗА"	

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Приложение 2

			№589-18-0В		
			"Общешитие квартирного типа для студентов НИЯУ МИФИ по адресу: Москва, ул.Москворечье, вл. 19, к.2		
изм.	кол.уч.	лист № док	подпись	дата	
ГИП		Передвижим		07.23	
Разраб.	Корнеев			07.23	
Н.контр				07.23	
			Стация	Лист	Листов
			Р	1	1
			Схемы противодымной вентиляции ХОВС ПДВ		
			ООО "Первый ДСК" г.Москва		
Формат А1					