

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: ВД2.1., ПД2.1.Секция 1 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 23,9 м

Площадь коридора, A_c : 35,95 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 4 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 800 х 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 800 x 400 мм, Сечение 0,231 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,32 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 35,95 / 23,9) / 23,9 \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot 23,9 / (2 \cdot 1,48 + 35,95 / 23,9))) = 365 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 365 = 0,96 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,96 \cdot 3600 = 12623 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,23 \cdot 0,96) = 15,17 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,35 + 2,7) \cdot 15,17^2 \cdot 0,96 = 340,11 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 340,11 - 58,82 = -396,81 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фВВ}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{ВВ}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -396,81)^{0,65} = 0,000377 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -396,81)^{0,65} = 0,005531 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,005531 + 0,000377 + 0 = 0,005908 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,005908 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,005908 = 3,4000 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,005908 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,005908) = 364,54 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 364,54 = 0,96 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((364,54 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (364,54 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,70 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,40 / (0,96 \cdot 0,32) = 10,97 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ВВ}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} / D_{\text{ЭВВ}} + Z_{\text{ВВ}}) = 0,5 \cdot 0,96 \cdot 10,97^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,53 + 1) = 58,82 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 10,97 \cdot 0,53 / (20,70 \cdot 10^{-6}) = 282589$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,40 / (0,96 \cdot 0,42) = 8,29 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,96 \cdot 8,29^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,64 + 0,3) = 13,35 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,29 \cdot 0,64 / (20,70 \cdot 10^{-6}) = 256899$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -396,81 - 13,35 = -410,16 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((0,69 - -410,16) / 11000)} = 0,044643 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -410,16)^{0,65} = 0,000385 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -410,16)^{0,65} = 0,004240 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004240 + 0,000385 + 0,044643 = 0,049269 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,055178 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,055178 = 3,4492 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,055178 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,055178) = 363,52 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 363,52 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((363,52 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (363,52 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,97 \cdot 0,42) = 8,38 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,97 \cdot 8,38^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,83 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,38 \cdot 0,64 / (20,59 \cdot 10^{-6}) = 261318$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -410,16 - 12,83 = -422,99 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((0,87 - -422,99) / 11000)} = 0,045345 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -422,99)^{0,65} = 0,000393 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -422,99)^{0,65} = 0,004326 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004326 + 0,000393 + 0,045345 = 0,050065 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,105243 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,105243 = 3,4993 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,105243 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,105243) = 362,51 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 362,51 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((362,51 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (362,51 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,49 / (0,97 \cdot 0,42) = 8,48 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,97 \cdot 8,48^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,16 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,48 \cdot 0,64 / (20,48 \cdot 10^{-6}) = 265815$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -422,99 - 13,16 = -436,16 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((1,05 - -436,16) / 11000)} = 0,046053 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -436,16)^{0,65} = 0,000401 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -436,16)^{0,65} = 0,004415 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004415 + 0,000401 + 0,046053 = 0,050870 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,156113 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,156113 = 3,5502 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,156113 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,156113) = 361,52 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 361,52 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((361,52 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (361,52 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,97 \cdot 0,42) = 8,58 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,97 \cdot 8,58^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,50 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,58 \cdot 0,64 / (20,37 \cdot 10^{-6}) = 270390$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -436,16 - 13,50 = -449,66 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((1,23 - -449,66) / 11000)} = 0,046768 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -449,66)^{0,65} = 0,000409 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -449,66)^{0,65} = 0,004504 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004504 + 0,000409 + 0,046768 = 0,051682 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,207796 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,207796 = 3,6019 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,207796 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,207796) = 360,53 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 360,53 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((360,53 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (360,53 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,60 / (0,97 \cdot 0,42) = 8,68 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,97 \cdot 8,68^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,85 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,68 \cdot 0,64 / (20,26 \cdot 10^{-6}) = 275043$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -449,66 - 13,85 = -463,52 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((1,41 - -463,52) / 11000)} = 0,047491 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -463,52)^{0,65} = 0,000417 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -463,52)^{0,65} = 0,004595 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004595 + 0,000417 + 0,047491 = 0,052504 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,260300 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,260300 = 3,6544 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,260300 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,260300) = 359,56 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 359,56 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((359,56 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (359,56 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,65 / (0,98 \cdot 0,42) = 8,78 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 8,78^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,78 \cdot 0,64 / (20,15 \cdot 10^{-6}) = 279777$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -463,52 - 14,22 = -477,75 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((1,59 - -477,75) / 11000)} = 0,048221 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -477,75)^{0,65} = 0,000426 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -477,75)^{0,65} = 0,004687 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004687 + 0,000426 + 0,048221 = 0,053334 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,313635 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,313635 = 3,7077 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,313635 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,313635) = 358,60 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 358,60 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((358,60 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (358,60 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,70 / (0,98 \cdot 0,42) = 8,89 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 8,89^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,59 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,89 \cdot 0,64 / (20,05 \cdot 10^{-6}) = 284592$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -477,75 - 14,59 = -492,34 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((1,77 - -492,34) / 11000)} = 0,048958 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -492,34)^{0,65} = 0,000434 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -492,34)^{0,65} = 0,004780 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004780 + 0,000434 + 0,048958 = 0,054173 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,367808 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,367808 = 3,7619 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,367808 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,367808) = 357,66 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 357,66 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((357,66 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (357,66 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,76 / (0,98 \cdot 0,42) = 9,00 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 9,00^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,97 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,00 \cdot 0,64 / (19,94 \cdot 10^{-6}) = 289488$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -492,34 - 14,97 = -507,32 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((1,94 - -507,32) / 11000)} = 0,049704 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -507,32)^{0,65} = 0,000443 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -507,32)^{0,65} = 0,004875 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,004875 + 0,000443 + 0,049704 = 0,055022 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,422831 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,422831 = 3,8169 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,422831 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,422831) = 356,73 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 356,73 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((356,73 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (356,73 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,81 / (0,98 \cdot 0,42) = 9,10 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 9,10^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,37 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,10 \cdot 0,64 / (19,84 \cdot 10^{-6}) = 294467$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -507,32 - 15,37 = -522,69 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((2,12 - -522,69) / 11000)} = 0,050457 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -522,69)^{0,65} = 0,000451 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -522,69)^{0,65} = 0,004971 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004971 + 0,000451 + 0,050457 = 0,055880 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,478712 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,478712 = 3,8728 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,478712 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,478712) = 355,81 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 355,81 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((355,81 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (355,81 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,74 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,87 / (0,99 \cdot 0,42) = 9,21 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,99 \cdot 9,21^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,77 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,21 \cdot 0,64 / (19,74 \cdot 10^{-6}) = 299530$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -522,69 - 15,77 = -538,47 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((2,30 - -538,47) / 11000)} = 0,051218 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -538,47)^{0,65} = 0,000460 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -538,47)^{0,65} = 0,005069 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,005069 + 0,000460 + 0,051218 = 0,056748 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,535460 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,535460 = 3,9295 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,535460 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,535460) = 354,90 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 354,90 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((354,90 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (354,90 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,92 / (0,99 \cdot 0,42) = 9,32 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 9,32^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,19 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,32 \cdot 0,64 / (19,64 \cdot 10^{-6}) = 304678$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -538,47 - 16,19 = -554,67 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((2,48 - -554,67) / 11000)} = 0,051988 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -554,67)^{0,65} = 0,000469 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -554,67)^{0,65} = 0,005168 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,005168 + 0,000469 + 0,051988 = 0,057626 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,593087 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,593087 = 3,9872 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,593087 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,593087) = 354,01 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 354,01 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((354,01 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (354,01 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,98 / (0,99 \cdot 0,42) = 9,44 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,99 \cdot 9,44^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,62 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,44 \cdot 0,64 / (19,54 \cdot 10^{-6}) = 309911$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -554,67 - 16,62 = -571,29 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,23 \cdot \sqrt{((2,66 - -571,29) / 11000)} = 0,052766 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -571,29)^{0,65} = 0,000479 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -571,29)^{0,65} = 0,005269 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,005269 + 0,000479 + 0,052766 = 0,058514 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,651601 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,651601 = 4,0457 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,651601 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,651601) = 353,12 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 353,12 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((353,12 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (353,12 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,04 / (0,99 \cdot 0,42) = 9,55 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 9,55^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,06 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,55 \cdot 0,64 / (19,45 \cdot 10^{-6}) = 315231$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -571,29 - 17,06 = -588,36 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((2,84 - -588,36) / 11000)} = 0,053553 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -588,36)^{0,65} = 0,000488 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -588,36)^{0,65} = 0,005371 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005371 + 0,000488 + 0,053553 = 0,059413 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,711014 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,711014 = 4,1051 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,711014 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,711014) = 352,25 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 352,25 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((352,25 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (352,25 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,10 / (1,00 \cdot 0,42) = 9,67 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 9,67^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,52 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 9,67 \cdot 0,64 / (19,35 \cdot 10^{-6}) = 320639$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{НН}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{Нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{15} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{НН}} + P_{\text{Нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -588,36 - 17,52 = -605,88 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,23 \cdot \sqrt{((3,02 - -605,88) / 11000)} = 0,054348 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,72 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -605,88)^{0,65} = 0,000497 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,92 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -605,88)^{0,65} = 0,005475 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,005475 + 0,000497 + 0,054348 = 0,060322 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,771337 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,771337 = 4,1654 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,771337 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,771337) = 351,4 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 351,4 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((351,4 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (351,4 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,16 / (1,00 \cdot 0,42) = 9,79 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 9,79^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,98 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{в}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эв}} / \nu = 9,79 \cdot 0,64 / (19,26 \cdot 10^{-6}) = 326135$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -605,88 - 17,98 = -623,87 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -623,87)^{0,65} = 0,008457 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,64 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -623,87)^{0,65} = 0,001860 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001860 + 0,008457 + 0 = 0,010317 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,781654 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,781654 = 4,1757 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,781654 + 364,67 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,781654) = 351,25 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 351,25 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((351,25 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (351,25 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,17 / (1,00 \cdot 0,36) = 11,54 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 11,54^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 89,05 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 11,54 \cdot 0,6 / (19,24 \cdot 10^{-6}) = 359783$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,17 / (1,00 \cdot 0,42) = 9,81 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 9,81^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,64 + 0,3) = 15,69 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,81 \cdot 0,64 / (19,24 \cdot 10^{-6}) = 327076$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,1757 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,1757 / 1,0049 \cdot 3600 = 14958 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 989,74 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 79 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,41 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

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: ВД2.2., ПД2.2. Секция 2 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 11,41 м

Площадь коридора, A_c : 17,25 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 17,25 / 11,41) / 11,41 \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot 11,41 / (2 \cdot 1,48 + 17,25 / 11,41))) = 415 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 415 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,85 \cdot 3600 = 14349 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,34 \cdot 0,85) = 11,65 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,29 + 2,7) \cdot 11,65^2 \cdot 0,85 = 172,91 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 172,91 - 33,73 = -204,52 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фВВ}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{ВВ}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -204,52)^{0,65} = 0,000286 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 11,36 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -204,52)^{0,65} = 0,003870 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003870 + 0,000286 + 0 = 0,004156 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,004156 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,004156 = 3,3982 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,004156 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004156) = 414,40 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 414,40 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((414,40 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (414,40 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,45) = 8,86 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ВВ}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} / D_{\text{ЭВВ}} + Z_{\text{ВВ}}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,86^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,64 + 1) = 33,73 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 8,86 \cdot 0,64 / (26,38 \cdot 10^{-6}) = 215979$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,67 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,67^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,64 + 0,3) = 12,90 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,67 \cdot 0,64 / (26,38 \cdot 10^{-6}) = 212937$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -204,52 - 12,90 = -217,42 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,69 - -217,42) / 11000)} = 0,048159 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -217,42)^{0,65} = 0,000297 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -217,42)^{0,65} = 0,003022 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003022 + 0,000297 + 0,048159 = 0,051479 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,055636 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,055636 = 3,4497 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,055636 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,055636) = 412,58 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 412,58 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((412,58 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (412,58 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,76 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,76^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,76 \cdot 0,64 / (26,17 \cdot 10^{-6}) = 216960$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -217,42 - 12,38 = -229,81 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,87 - -229,81) / 11000)} = 0,049527 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -229,81)^{0,65} = 0,000309 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -229,81)^{0,65} = 0,003134 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003134 + 0,000309 + 0,049527 = 0,052970 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{ф} = 0,108606 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,108606 = 3,5027 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{в} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_{а}) = \\ (293 \cdot 0,108606 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,108606) = 410,78 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 410,78 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((410,78 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (410,78 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,50 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,86 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,86^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,70 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,86 \cdot 0,64 / (25,96 \cdot 10^{-6}) = 221109$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -229,81 - 12,70 = -242,51 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,05 - -242,51) / 11000)} = 0,050891 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -242,51)^{0,65} = 0,000320 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -242,51)^{0,65} = 0,003247 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003247 + 0,000320 + 0,050891 = 0,054458 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,163065 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,163065 = 3,5571 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,163065 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,163065) = 408,97 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 408,97 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((408,97 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (408,97 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,86 \cdot 0,46) = 8,95 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,95^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,04 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,95 \cdot 0,64 / (25,75 \cdot 10^{-6}) = 225385$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -242,51 - 13,04 = -255,55 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,23 - -255,55) / 11000)} = 0,052254 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -255,55)^{0,65} = 0,000331 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -255,55)^{0,65} = 0,003360 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003360 + 0,000331 + 0,052254 = 0,055946 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,219012 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,219012 = 3,6131 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,219012 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,219012) = 407,18 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 407,18 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((407,18 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (407,18 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,61 / (0,86 \cdot 0,46) = 9,06 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 9,06^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,06 \cdot 0,64 / (25,54 \cdot 10^{-6}) = 229787$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -255,55 - 13,38 = -268,94 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,41 - -268,94) / 11000)} = 0,053616 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -268,94)^{0,65} = 0,000342 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -268,94)^{0,65} = 0,003475 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003475 + 0,000342 + 0,053616 = 0,057434 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,276446 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,276446 = 3,6705 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,276446 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,276446) = 405,39 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 405,39 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((405,39 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (405,39 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,16 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,16^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,74 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / v = 9,16 \cdot 0,64 / (25,33 \cdot 10^{-6}) = 234318$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{НН}} + P_{\text{Нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(\text{i}-1)} - \Delta P_{\text{ш}(\text{i}-1)} = -268,94 - 13,74 = -282,69 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,59 - -282,69) / 11000)} = 0,054980 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -282,69)^{0,65} = 0,000353 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -282,69)^{0,65} = 0,003590 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003590 + 0,000353 + 0,054980 = 0,058924 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,335371 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,335371 = 3,7294 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,335371 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,335371) = 403,61 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 403,61 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((403,61 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (403,61 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,72 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,27 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,27^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,12 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,27 \cdot 0,64 / (25,13 \cdot 10^{-6}) = 238976$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -282,69 - 14,12 = -296,81 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,77 - -296,81) / 11000)} = 0,056346 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -296,81)^{0,65} = 0,000365 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -296,81)^{0,65} = 0,003706 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003706 + 0,000365 + 0,056346 = 0,060418 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,395789 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,395789 = 3,7899 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,395789 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,395789) = 401,85 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 401,85 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((401,85 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (401,85 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,92 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,78 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,37 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,37^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,51 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,37 \cdot 0,64 / (24,92 \cdot 10^{-6}) = 243764$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -296,81 - 14,51 = -311,33 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,94 - -311,33) / 11000)} = 0,057716 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -311,33)^{0,65} = 0,000377 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -311,33)^{0,65} = 0,003824 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003824 + 0,000377 + 0,057716 = 0,061917 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,457707 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,457707 = 3,8518 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,457707 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,457707) = 400,10 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 400,10 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((400,10 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (400,10 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,85 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,49 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,49^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,91 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,49 \cdot 0,64 / (24,72 \cdot 10^{-6}) = 248682$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -311,33 - 14,91 = -326,24 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,12 - -326,24) / 11000)} = 0,059090 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -326,24)^{0,65} = 0,000388 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -326,24)^{0,65} = 0,003943 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003943 + 0,000388 + 0,059090 = 0,063422 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,521129 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,521129 = 3,9152 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,521129 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,521129) = 398,37 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 398,37 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((398,37 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (398,37 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,91 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,60 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,60^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,33 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,60 \cdot 0,64 / (24,52 \cdot 10^{-6}) = 253730$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -326,24 - 15,33 = -341,58 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,30 - -341,58) / 11000)} = 0,060470 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -341,58)^{0,65} = 0,000400 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -341,58)^{0,65} = 0,004063 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004063 + 0,000400 + 0,060470 = 0,064934 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,586063 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,586063 = 3,9801 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,586063 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,586063) = 396,65 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 396,65 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((396,65 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (396,65 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,98 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,72 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,72^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,77 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,72 \cdot 0,64 / (24,32 \cdot 10^{-6}) = 258911$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -341,58 - 15,77 = -357,36 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,48 - -357,36) / 11000)} = 0,061856 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -357,36)^{0,65} = 0,000412 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -357,36)^{0,65} = 0,004184 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004184 + 0,000412 + 0,061856 = 0,066454 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,652517 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,652517 = 4,0466 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,652517 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,652517) = 394,95 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 394,95 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((394,95 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (394,95 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,04 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,84 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,84^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,84 \cdot 0,64 / (24,13 \cdot 10^{-6}) = 264225$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -357,36 - 16,22 = -373,58 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,66 - -373,58) / 11000)} = 0,063251 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -373,58)^{0,65} = 0,000424 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -373,58)^{0,65} = 0,004307 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004307 + 0,000424 + 0,063251 = 0,067983 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,720501 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,720501 = 4,1146 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,720501 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,720501) = 393,26 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 393,26 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((393,26 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (393,26 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,11 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,96 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,96^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,69 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,96 \cdot 0,64 / (23,94 \cdot 10^{-6}) = 269673$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -373,58 - 16,69 = -390,28 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,84 - -390,28) / 11000)} = 0,064653 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -390,28)^{0,65} = 0,000436 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -390,28)^{0,65} = 0,004432 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004432 + 0,000436 + 0,064653 = 0,069523 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{фj} = 0,790024 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,790024 = 4,1841 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,790024 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,790024) = 391,59 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 391,59 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((391,59 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (391,59 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,18 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,09 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,09^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,18 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,09 \cdot 0,64 / (23,75 \cdot 10^{-6}) = 275257$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -390,28 - 17,18 = -407,46 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((3,02 - -407,46) / 11000)} = 0,066066 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -407,46)^{0,65} = 0,000449 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -407,46)^{0,65} = 0,004558 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004558 + 0,000449 + 0,066066 = 0,071074 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,861098 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,861098 = 4,2552 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,861098 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,861098) = 389,95 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 389,95 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((389,95 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (389,95 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,25 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,21 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,21^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,68 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,21 \cdot 0,64 / (23,56 \cdot 10^{-6}) = 280977$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -407,46 - 17,68 = -425,14 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -425,14)^{0,65} = 0,006601 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,84 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -425,14)^{0,65} = 0,001562 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001562 + 0,006601 + 0 = 0,008163 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,869262 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,869262 = 4,2633 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,869262 + 414,55 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,869262) = 389,76 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 389,76 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((389,76 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (389,76 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,26 / (0,90 \cdot 0,36) = 13,07 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,07^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 103,10 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 13,07 \cdot 0,6 / (23,54 \cdot 10^{-6}) = 333268$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,26 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,23 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,23^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,64 + 0,3) = 15,39 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,23 \cdot 0,64 / (23,54 \cdot 10^{-6}) = 281635$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2633 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2633 / 0,9056 \cdot 3600 = 16947 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 846,58 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 117 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,47 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

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: ВД2.3., ПД2.3. Секция 3 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 11,21 м

Площадь коридора, A_c : 16,88 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} =$$

$$293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot$$

$$(1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) =$$

$$293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 16,88 / 11,21) / 11,21 \cdot$$

$$(1 - \exp(-0,58 \cdot 11,21 / (2 \cdot 1,48 + 16,88 / 11,21))) = 416 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 416 = 0,84 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,84 \cdot 3600 = 14388 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,34 \cdot 0,84) = 11,68 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,29 + 2,7) \cdot 11,68^2 \cdot 0,84 = 173,38 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 173,38 - 33,82 = -205,08 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фВВ}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{ВВ}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -205,08)^{0,65} = 0,000286 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 11,36 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -205,08)^{0,65} = 0,003877 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003877 + 0,000286 + 0 = 0,004163 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,004163 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,004163 = 3,3982 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,004163 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004163) = 415,51 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 415,51 = 0,84 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((415,51 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (415,51 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,51 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,84 \cdot 0,45) = 8,88 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ВВ}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} / D_{\text{ЭВВ}} + Z_{\text{ВВ}}) = 0,5 \cdot 0,84 \cdot 8,88^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,64 + 1) = 33,82 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 8,88 \cdot 0,64 / (26,51 \cdot 10^{-6}) = 215493$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,84 \cdot 0,46) = 8,69 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,84 \cdot 8,69^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,64 + 0,3) = 12,93 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,69 \cdot 0,64 / (26,51 \cdot 10^{-6}) = 212458$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -205,08 - 12,93 = -218,01 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,69 - -218,01) / 11000)} = 0,048224 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -218,01)^{0,65} = 0,000298 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -218,01)^{0,65} = 0,003027 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003027 + 0,000298 + 0,048224 = 0,051551 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,055714 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,055714 = 3,4498 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,055714 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,055714) = 413,68 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 413,68 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((413,68 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (413,68 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,44 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,78 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,78^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,42 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,78 \cdot 0,64 / (26,30 \cdot 10^{-6}) = 216481$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -218,01 - 12,42 = -230,43 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,87 - -230,43) / 11000)} = 0,049594 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -230,43)^{0,65} = 0,000309 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -230,43)^{0,65} = 0,003139 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003139 + 0,000309 + 0,049594 = 0,053044 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{ф} = 0,108758 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,108758 = 3,5028 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_{а}) = \\ (293 \cdot 0,108758 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,108758) = 411,85 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 411,85 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((411,85 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (411,85 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,50 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,88 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,88^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,74 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,88 \cdot 0,64 / (26,09 \cdot 10^{-6}) = 220630$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -230,43 - 12,74 = -243,18 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,05 - -243,18) / 11000)} = 0,050960 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -243,18)^{0,65} = 0,000320 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -243,18)^{0,65} = 0,003252 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003252 + 0,000320 + 0,050960 = 0,054534 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,163293 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,163293 = 3,5574 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,163293 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,163293) = 410,03 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 410,03 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((410,03 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (410,03 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,86 \cdot 0,46) = 8,98 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,98^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,07 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,98 \cdot 0,64 / (25,87 \cdot 10^{-6}) = 224906$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -243,18 - 13,07 = -256,25 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,23 - -256,25) / 11000)} = 0,052325 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -256,25)^{0,65} = 0,000331 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -256,25)^{0,65} = 0,003366 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003366 + 0,000331 + 0,052325 = 0,056023 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,219317 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,219317 = 3,6134 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,219317 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,219317) = 408,22 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 408,22 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((408,22 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (408,22 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,61 / (0,86 \cdot 0,46) = 9,08 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 9,08^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,42 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,08 \cdot 0,64 / (25,66 \cdot 10^{-6}) = 229309$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -256,25 - 13,42 = -269,68 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,41 - -269,68) / 11000)} = 0,053689 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -269,68)^{0,65} = 0,000343 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -269,68)^{0,65} = 0,003481 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003481 + 0,000343 + 0,053689 = 0,057514 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,276831 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,276831 = 3,6709 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,276831 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,276831) = 406,41 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 406,41 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((406,41 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (406,41 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,86 \cdot 0,46) = 9,18 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 9,18^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,78 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,18 \cdot 0,64 / (25,45 \cdot 10^{-6}) = 233839$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -269,68 - 13,78 = -283,46 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,59 - -283,46) / 11000)} = 0,055055 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -283,46)^{0,65} = 0,000354 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -283,46)^{0,65} = 0,003596 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003596 + 0,000354 + 0,055055 = 0,059006 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,335837 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,335837 = 3,7299 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,335837 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,335837) = 404,62 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 404,62 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((404,62 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (404,62 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,72 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,29 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,29^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,16 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,29 \cdot 0,64 / (25,24 \cdot 10^{-6}) = 238498$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -283,46 - 14,16 = -297,63 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,77 - -297,63) / 11000)} = 0,056423 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -297,63)^{0,65} = 0,000366 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -297,63)^{0,65} = 0,003713 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003713 + 0,000366 + 0,056423 = 0,060502 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,396340 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,396340 = 3,7904 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,396340 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,396340) = 402,84 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 402,84 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((402,84 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (402,84 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,79 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,40 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,40^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,55 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,40 \cdot 0,64 / (25,04 \cdot 10^{-6}) = 243286$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -297,63 - 14,55 = -312,18 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,94 - -312,18) / 11000)} = 0,057794 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -312,18)^{0,65} = 0,000377 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -312,18)^{0,65} = 0,003831 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003831 + 0,000377 + 0,057794 = 0,062003 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,458343 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,458343 = 3,8524 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,458343 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,458343) = 401,07 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 401,07 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((401,07 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (401,07 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,83 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,85 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,51 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,51^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,95 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,51 \cdot 0,64 / (24,83 \cdot 10^{-6}) = 248204$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -312,18 - 14,95 = -327,14 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,12 - -327,14) / 11000)} = 0,059170 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -327,14)^{0,65} = 0,000389 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -327,14)^{0,65} = 0,003950 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003950 + 0,000389 + 0,059170 = 0,063510 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,521854 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,521854 = 3,9159 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,521854 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,521854) = 399,32 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 399,32 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((399,32 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (399,32 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,91 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,63 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,63^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,63 \cdot 0,64 / (24,63 \cdot 10^{-6}) = 253254$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -327,14 - 15,38 = -342,52 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,30 - -342,52) / 11000)} = 0,060552 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -342,52)^{0,65} = 0,000401 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -342,52)^{0,65} = 0,004070 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004070 + 0,000401 + 0,060552 = 0,065024 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,586878 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,586878 = 3,9809 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,586878 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,586878) = 397,58 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 397,58 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((397,58 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (397,58 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,98 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,74 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,74^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,81 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,74 \cdot 0,64 / (24,43 \cdot 10^{-6}) = 258435$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -342,52 - 15,81 = -358,34 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,48 - -358,34) / 11000)} = 0,061941 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -358,34)^{0,65} = 0,000413 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -358,34)^{0,65} = 0,004192 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004192 + 0,000413 + 0,061941 = 0,066546 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,653425 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,653425 = 4,0475 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,653425 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,653425) = 395,86 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 395,86 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((395,86 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (395,86 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,04 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,86 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,86^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,27 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,86 \cdot 0,64 / (24,23 \cdot 10^{-6}) = 263750$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -358,34 - 16,27 = -374,61 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,66 - -374,61) / 11000)} = 0,063337 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -374,61)^{0,65} = 0,000425 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -374,61)^{0,65} = 0,004315 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004315 + 0,000425 + 0,063337 = 0,068078 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,721503 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,721503 = 4,1156 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,721503 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,721503) = 394,16 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 394,16 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((394,16 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (394,16 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,11 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,99 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,99^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,74 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,99 \cdot 0,64 / (24,04 \cdot 10^{-6}) = 269199$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -374,61 - 16,74 = -391,35 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,84 - -391,35) / 11000)} = 0,064742 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -391,35)^{0,65} = 0,000437 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -391,35)^{0,65} = 0,004440 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004440 + 0,000437 + 0,064742 = 0,069620 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,791124 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,791124 = 4,1852 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,791124 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,791124) = 392,48 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 392,48 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((392,48 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (392,48 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,18 / (0,89 \cdot 0,46) = 10,11 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 10,11^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,11 \cdot 0,64 / (23,85 \cdot 10^{-6}) = 274784$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -391,35 - 17,22 = -408,58 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((3,02 - -408,58) / 11000)} = 0,066156 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -408,58)^{0,65} = 0,000450 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -408,58)^{0,65} = 0,004566 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004566 + 0,000450 + 0,066156 = 0,071173 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,862297 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,862297 = 4,2564 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,862297 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,862297) = 390,81 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 390,81 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((390,81 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,81 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,25 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,24 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,24^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,73 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,24 \cdot 0,64 / (23,66 \cdot 10^{-6}) = 280507$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -408,58 - 17,73 = -426,32 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -426,32)^{0,65} = 0,006613 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,84 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -426,32)^{0,65} = 0,001565 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001565 + 0,006613 + 0 = 0,008178 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,870476 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,870476 = 4,2645 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,870476 + 415,66 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,870476) = 390,62 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 390,62 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((390,62 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,62 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,26 / (0,90 \cdot 0,36) = 13,10 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,10^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 103,39 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 13,10 \cdot 0,6 / (23,64 \cdot 10^{-6}) = 332712$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,26 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,25 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,25^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,64 + 0,3) = 15,44 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,25 \cdot 0,64 / (23,64 \cdot 10^{-6}) = 281165$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2645 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2645 / 0,9036 \cdot 3600 = 16989 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 850,32 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 118 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,47 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

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: ВД2.4., ПД2.4. Секция 4 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 17,48 м

Площадь коридора, A_c : 26,37 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 4 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение 0,29 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 800 х 500 мм, Сечение $0,29 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,4 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2, \quad L_{ВВ} = 5 \text{ м}, \quad Z_{ВВ} = 1,2, \quad \text{Металл}$$

Вертикальный участок

$$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2, \quad L_{Ш} = 1 \text{ м}, \quad Z_{Ш} = 0,3, \quad \text{Металл}$$

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 26,37 / 17,48) / 17,48 \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot 17,48 / (2 \cdot 1,48 + 26,37 / 17,48))) = 385 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 385 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,91 \cdot 3600 = 13328 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,29 \cdot 0,91) = 12,76 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,3 + 2,7) \cdot 12,76^2 \cdot 0,91 = 224,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{H1} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{H1} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 224,12 - 39,67 = -261,66 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -261,66)^{0,65} = 0,000311 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 10,96 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -261,66)^{0,65} = 0,004381 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,004381 + 0,000311 + 0 = 0,004693 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,004693 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,004693 = 3,3988 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,004693 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004693) = 384,91 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

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

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((384,91 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (384,91 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,99 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,91 \cdot 0,4) = 9,26 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 9,26^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,61 + 1) = 39,67 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,26 \cdot 0,61 / (22,99 \cdot 10^{-6}) = 248003$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,91 \cdot 0,43) = 8,51 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 8,51^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,63 + 0,3) = 13,43 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,51 \cdot 0,63 / (22,99 \cdot 10^{-6}) = 235331$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -261,66 - 13,43 = -275,09 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((0,69 - -275,09) / 11000)} = 0,045919 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -275,09)^{0,65} = 0,000322 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -275,09)^{0,65} = 0,003396 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003396 + 0,000322 + 0,045919 = 0,049637 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,054330 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,054330 = 3,4484 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,054330 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,054330) = 383,59 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ K} = 353 / 383,59 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((383,59 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (383,59 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,92 \cdot 0,43) = 8,61 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,92 \cdot 8,61^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 12,88 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,61 \cdot 0,63 / (22,84 \cdot 10^{-6}) = 239508$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -275,09 - 12,88 = -287,98 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((0,87 - -287,98) / 11000)} = 0,046994 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -287,98)^{0,65} = 0,000332 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -287,98)^{0,65} = 0,003500 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003500 + 0,000332 + 0,046994 = 0,050826 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,105157 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,105157 = 3,4992 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{в} \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,105157 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,105157) = 382,27 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 382,27 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((382,27 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (382,27 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,49 / (0,92 \cdot 0,43) = 8,71 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,92 \cdot 8,71^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 13,21 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,71 \cdot 0,63 / (22,69 \cdot 10^{-6}) = 243793$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -287,98 - 13,21 = -301,20 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((1,05 - -301,20) / 11000)} = 0,048071 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -301,20)^{0,65} = 0,000342 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -301,20)^{0,65} = 0,003604 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003604 + 0,000342 + 0,048071 = 0,052018 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,157176 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,157176 = 3,5512 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,157176 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,157176) = 380,96 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 380,96 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((380,96 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (380,96 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,92 \cdot 0,43) = 8,81 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,92 \cdot 8,81^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 13,56 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,81 \cdot 0,63 / (22,54 \cdot 10^{-6}) = 248185$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -301,20 - 13,56 = -314,76 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((1,23 - -314,76) / 11000)} = 0,049152 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -314,76)^{0,65} = 0,000352 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -314,76)^{0,65} = 0,003710 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003710 + 0,000352 + 0,049152 = 0,053214 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,210391 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,210391 = 3,6045 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,210391 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,210391) = 379,66 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 379,66 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((379,66 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (379,66 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,60 / (0,92 \cdot 0,43) = 8,91 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,92 \cdot 8,91^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 13,91 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,91 \cdot 0,63 / (22,39 \cdot 10^{-6}) = 252687$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -314,76 - 13,91 = -328,68 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,29 \cdot \sqrt{((1,41 - -328,68) / 11000)} = 0,050236 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -328,68)^{0,65} = 0,000362 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -328,68)^{0,65} = 0,003817 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003817 + 0,000362 + 0,050236 = 0,054416 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,264807 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,264807 = 3,6589 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,264807 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,264807) = 378,38 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 378,38 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((378,38 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (378,38 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,65 / (0,93 \cdot 0,43) = 9,01 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 9,01^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 14,28 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 9,01 \cdot 0,63 / (22,25 \cdot 10^{-6}) = 257297$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -328,68 - 14,28 = -342,96 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,29 \cdot \sqrt{((1,59 - -342,96) / 11000)} = 0,051325 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -342,96)^{0,65} = 0,000372 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -342,96)^{0,65} = 0,003925 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003925 + 0,000372 + 0,051325 = 0,055622 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,320430 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,320430 = 3,7145 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,320430 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,320430) = 377,10 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 377,10 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

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

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,71 / (0,93 \cdot 0,43) = 9,12 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 9,12^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 14,66 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,12 \cdot 0,63 / (22,10 \cdot 10^{-6}) = 262019$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -342,96 - 14,66 = -357,62 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,29 \cdot \sqrt{((1,77 - -357,62) / 11000)} = 0,052419 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -357,62)^{0,65} = 0,000382 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -357,62)^{0,65} = 0,004034 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004034 + 0,000382 + 0,052419 = 0,056836 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,377266 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,377266 = 3,7713 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,377266 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,377266) = 375,83 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 375,83 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((375,83 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (375,83 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,77 / (0,93 \cdot 0,43) = 9,23 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 9,23^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 15,05 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,23 \cdot 0,63 / (21,96 \cdot 10^{-6}) = 266851$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -357,62 - 15,05 = -372,68 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((1,94 - -372,68) / 11000)} = 0,053518 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -372,68)^{0,65} = 0,000393 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -372,68)^{0,65} = 0,004144 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,004144 + 0,000393 + 0,053518 = 0,058056 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,435322 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,435322 = 3,8294 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,435322 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,435322) = 374,57 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 374,57 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((374,57 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (374,57 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,82 / (0,94 \cdot 0,43) = 9,34 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 9,34^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 15,46 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,34 \cdot 0,63 / (21,82 \cdot 10^{-6}) = 271795$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -372,68 - 15,46 = -388,15 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((2,12 - -388,15) / 11000)} = 0,054624 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -388,15)^{0,65} = 0,000403 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -388,15)^{0,65} = 0,004256 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004256 + 0,000403 + 0,054624 = 0,059284 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,494607 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,494607 = 3,8887 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,494607 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,494607) = 373,33 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 373,33 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((373,33 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (373,33 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,68 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,88 / (0,94 \cdot 0,43) = 9,45 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,94 \cdot 9,45^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 15,88 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,45 \cdot 0,63 / (21,68 \cdot 10^{-6}) = 276852$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -388,15 - 15,88 = -404,04 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((2,30 - -404,04) / 11000)} = 0,055737 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -404,04)^{0,65} = 0,000414 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -404,04)^{0,65} = 0,004369 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004369 + 0,000414 + 0,055737 = 0,060521 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,555129 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,555129 = 3,9492 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,555129 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,555129) = 372,10 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 372,10 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((372,10 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (372,10 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,94 / (0,94 \cdot 0,43) = 9,57 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 9,57^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 16,32 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,57 \cdot 0,63 / (21,54 \cdot 10^{-6}) = 282023$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -404,04 - 16,32 = -420,36 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((2,48 - -420,36) / 11000)} = 0,056858 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -420,36)^{0,65} = 0,000425 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -420,36)^{0,65} = 0,004483 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004483 + 0,000425 + 0,056858 = 0,061767 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,616897 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,616897 = 4,0110 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,616897 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,616897) = 370,88 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 370,88 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((370,88 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (370,88 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,01 / (0,95 \cdot 0,43) = 9,68 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,95 \cdot 9,68^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 16,77 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,68 \cdot 0,63 / (21,41 \cdot 10^{-6}) = 287309$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -420,36 - 16,77 = -437,14 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,29 \cdot \sqrt{((2,66 - -437,14) / 11000)} = 0,057987 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -437,14)^{0,65} = 0,000436 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -437,14)^{0,65} = 0,004599 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004599 + 0,000436 + 0,057987 = 0,063023 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,679921 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,679921 = 4,0740 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,679921 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,679921) = 369,68 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 369,68 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((369,68 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (369,68 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,07 / (0,95 \cdot 0,43) = 9,80 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 9,80^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 17,24 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,80 \cdot 0,63 / (21,27 \cdot 10^{-6}) = 292711$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -437,14 - 17,24 = -454,38 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,29 \cdot \sqrt{((2,84 - -454,38) / 11000)} = 0,059124 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -454,38)^{0,65} = 0,000447 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -454,38)^{0,65} = 0,004717 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004717 + 0,000447 + 0,059124 = 0,064289 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,744211 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,744211 = 4,1383 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,744211 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,744211) = 368,48 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 368,48 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((368,48 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (368,48 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,13 / (0,95 \cdot 0,43) = 9,93 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 9,93^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 17,72 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,93 \cdot 0,63 / (21,14 \cdot 10^{-6}) = 298230$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -454,38 - 17,72 = -472,11 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,29 \cdot \sqrt{((3,02 - -472,11) / 11000)} = 0,060271 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -472,11)^{0,65} = 0,000458 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -472,11)^{0,65} = 0,004836 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004836 + 0,000458 + 0,060271 = 0,065566 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,809778 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,809778 = 4,2038 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,809778 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,809778) = 367,31 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 367,31 = 0,96 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((367,31 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (367,31 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,20 / (0,96 \cdot 0,43) = 10,05 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,96 \cdot 10,05^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 18,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{в}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,05 \cdot 0,63 / (21,01 \cdot 10^{-6}) = 303868$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -472,11 - 18,22 = -490,33 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -490,33)^{0,65} = 0,007238 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,74 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -490,33)^{0,65} = 0,001652 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001652 + 0,007238 + 0 = 0,008890 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,818668 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,818668 = 4,2127 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,818668 + 385,04 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,818668) = 367,15 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 367,15 = 0,96 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((367,15 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (367,15 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,99 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,21 / (0,96 \cdot 0,36) = 12,17 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,96 \cdot 12,17^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 94,78 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 12,17 \cdot 0,6 / (20,99 \cdot 10^{-6}) = 347789$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,21 / (0,96 \cdot 0,43) = 10,07 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,96 \cdot 10,07^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,63 + 0,3) = 15,85 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,07 \cdot 0,63 / (20,99 \cdot 10^{-6}) = 304633$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2127 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2127 / 0,9614 \cdot 3600 = 15774 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 872,49 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,43 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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: ВД2.5., ПД2.5. Секция 5 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 11,41 м

Площадь коридора, A_c : 17,18 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 17,18 / 11,41) / 11,41 \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot 11,41 / (2 \cdot 1,48 + 17,18 / 11,41))) = 414 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 414 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,85 \cdot 3600 = 14346 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,34 \cdot 0,85) = 11,65 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,29 + 2,7) \cdot 11,65^2 \cdot 0,85 = 172,88 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 172,88 - 33,72 = -204,47 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фВВ}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{ВВ}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -204,47)^{0,65} = 0,000286 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 11,36 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -204,47)^{0,65} = 0,003869 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003869 + 0,000286 + 0 = 0,004155 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,004155 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,004155 = 3,3982 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,004155 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004155) = 414,30 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 414,30 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((414,30 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (414,30 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,45) = 8,86 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ВВ}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} / D_{\text{ЭВВ}} + Z_{\text{ВВ}}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,86^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,64 + 1) = 33,72 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 8,86 \cdot 0,64 / (26,37 \cdot 10^{-6}) = 216020$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,67 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,67^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,64 + 0,3) = 12,89 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,67 \cdot 0,64 / (26,37 \cdot 10^{-6}) = 212977$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -204,47 - 12,89 = -217,37 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,69 - -217,37) / 11000)} = 0,048153 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -217,37)^{0,65} = 0,000297 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -217,37)^{0,65} = 0,003021 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003021 + 0,000297 + 0,048153 = 0,051473 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,055629 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,055629 = 3,4497 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,055629 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,055629) = 412,49 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 412,49 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((412,49 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (412,49 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,76 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,76^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,76 \cdot 0,64 / (26,16 \cdot 10^{-6}) = 217001$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -217,37 - 12,38 = -229,75 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,87 - -229,75) / 11000)} = 0,049521 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -229,75)^{0,65} = 0,000308 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -229,75)^{0,65} = 0,003133 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003133 + 0,000308 + 0,049521 = 0,052964 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{фj} = 0,108594 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,108594 = 3,5027 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,108594 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,108594) = 410,69 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 410,69 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((410,69 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (410,69 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,50 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,85 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,85^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,70 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,85 \cdot 0,64 / (25,95 \cdot 10^{-6}) = 221150$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -229,75 - 12,70 = -242,46 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,05 - -242,46) / 11000)} = 0,050885 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -242,46)^{0,65} = 0,000320 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -242,46)^{0,65} = 0,003246 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003246 + 0,000320 + 0,050885 = 0,054452 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,163046 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,163046 = 3,5571 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,163046 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,163046) = 408,88 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 408,88 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((408,88 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (408,88 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,74 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,86 \cdot 0,46) = 8,95 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,95^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,03 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,95 \cdot 0,64 / (25,74 \cdot 10^{-6}) = 225425$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -242,46 - 13,03 = -255,5 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,23 - -255,5) / 11000)} = 0,052248 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -255,5)^{0,65} = 0,000331 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -255,5)^{0,65} = 0,003360 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003360 + 0,000331 + 0,052248 = 0,055939 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,218986 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,218986 = 3,6131 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,218986 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,218986) = 407,09 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 407,09 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((407,09 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (407,09 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,61 / (0,86 \cdot 0,46) = 9,05 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 9,05^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,05 \cdot 0,64 / (25,53 \cdot 10^{-6}) = 229828$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -255,5 - 13,38 = -268,88 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,41 - -268,88) / 11000)} = 0,053610 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -268,88)^{0,65} = 0,000342 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -268,88)^{0,65} = 0,003474 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003474 + 0,000342 + 0,053610 = 0,057427 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,276414 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,276414 = 3,6705 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,276414 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,276414) = 405,30 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 405,30 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((405,30 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (405,30 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,16 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,16^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,74 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / v = 9,16 \cdot 0,64 / (25,32 \cdot 10^{-6}) = 234358$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{НН}} + P_{\text{Нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(\text{i}-1)} - \Delta P_{\text{ш}(\text{i}-1)} = -268,88 - 13,74 = -282,62 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,59 - -282,62) / 11000)} = 0,054974 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -282,62)^{0,65} = 0,000353 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -282,62)^{0,65} = 0,003589 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003589 + 0,000353 + 0,054974 = 0,058917 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,335331 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,335331 = 3,7294 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,335331 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,335331) = 403,53 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 403,53 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((403,53 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (403,53 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,72 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,26 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,26^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,12 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,26 \cdot 0,64 / (25,12 \cdot 10^{-6}) = 239017$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -282,62 - 14,12 = -296,74 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,77 - -296,74) / 11000)} = 0,056339 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -296,74)^{0,65} = 0,000365 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 555 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -296,74)^{0,65} = 0,241423 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,241423 + 0,000365 + 0,056339 = 0,298129 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,633461 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,633461 = 4,0275 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,633461 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,633461) = 395,35 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 395,35 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((395,35 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (395,35 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,02 / (0,89 \cdot 46) = 0,09 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,03$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,89 \cdot 0,09^2 \cdot (0,03 \cdot 3 / 0,99 + 0,3) = 0,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 0,09 \cdot 0,99 / (24,18 \cdot 10^{-6}) = 4033,5$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -296,74 - 0,00 = -296,75 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,94 - -296,75) / 11000)} = 0,056356 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -296,75)^{0,65} = 0,000365 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -296,75)^{0,65} = 0,003707 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003707 + 0,000365 + 0,056356 = 0,060430 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,693891 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,693891 = 4,088 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) = \\ (293 \cdot 0,693891 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,693891) = 393,84 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 393,84 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((393,84 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (393,84 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,00 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 4,08 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,91 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,91^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,50 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,91 \cdot 0,64 / (24,00 \cdot 10^{-6}) = 267585$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -296,75 - 16,50 = -313,25 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,12 - -313,25) / 11000)} = 0,057909 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -313,25)^{0,65} = 0,000378 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -313,25)^{0,65} = 0,003840 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003840 + 0,000378 + 0,057909 = 0,062129 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,756020 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,756020 = 4,1501 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,756020 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,756020) = 392,33 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 392,33 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((392,33 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (392,33 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,83 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,15 / (0,89 \cdot 0,46) = 10,02 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = 0,5 \cdot 0,89 \cdot 10,02^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,93 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 10,02 \cdot 0,64 / (23,83 \cdot 10^{-6}) = 272571$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -313,25 - 16,93 = -330,19 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,30 - -330,19) / 11000)} = 0,059460 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -330,19)^{0,65} = 0,000391 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -330,19)^{0,65} = 0,003975 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003975 + 0,000391 + 0,059460 = 0,063827 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,819848 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,819848 = 4,2139 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,819848 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,819848) = 390,82 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 390,82 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((390,82 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,82 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,21 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,14 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,14^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 10,14 \cdot 0,64 / (23,66 \cdot 10^{-6}) = 277703$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -330,19 - 17,38 = -347,58 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,48 - -347,58) / 11000)} = 0,061011 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -347,58)^{0,65} = 0,000405 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -347,58)^{0,65} = 0,004110 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004110 + 0,000405 + 0,061011 = 0,065526 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,885375 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,885375 = 4,2794 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,885375 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,885375) = 389,32 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 389,32 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((389,32 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (389,32 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,27 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,26 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,26^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,85 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 10,26 \cdot 0,64 / (23,49 \cdot 10^{-6}) = 282982$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -347,58 - 17,85 = -365,44 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,66 - -365,44) / 11000)} = 0,062563 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -365,44)^{0,65} = 0,000418 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -365,44)^{0,65} = 0,004246 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004246 + 0,000418 + 0,062563 = 0,067228 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,952603 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,952603 = 4,3467 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,952603 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,952603) = 387,83 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 387,83 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((387,83 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (387,83 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,34 / (0,91 \cdot 0,46) = 10,38 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 10,38^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 18,34 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / v = 10,38 \cdot 0,64 / (23,32 \cdot 10^{-6}) = 288409$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -365,44 - 18,34 = -383,78 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,84 - -383,78) / 11000)} = 0,064117 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -383,78)^{0,65} = 0,000432 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -383,78)^{0,65} = 0,004384 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004384 + 0,000432 + 0,064117 = 0,068934 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{фj} = 1,021538 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 1,021538 = 4,4156 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 1,021538 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 1,021538) = 386,35 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

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

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

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

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,41 / (0,91 \cdot 0,46) = 10,50 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 10,50^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 18,84 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,50 \cdot 0,64 / (23,15 \cdot 10^{-6}) = 293985$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -383,78 - 18,84 = -402,63 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((3,02 - -402,63) / 11000)} = 0,065676 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -402,63)^{0,65} = 0,000446 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -402,63)^{0,65} = 0,004523 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004523 + 0,000446 + 0,065676 = 0,070646 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 1,092184 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 1,092184 = 4,4863 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 1,092184 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 1,092184) = 384,88 \text{ К}$$

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

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

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

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,48 / (0,91 \cdot 0,46) = 10,63 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 10,63^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 19,37 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,63 \cdot 0,64 / (22,98 \cdot 10^{-6}) = 299710$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -402,63 - 19,37 = -422,00 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -422,00)^{0,65} = 0,006570 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,84 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -422,00)^{0,65} = 0,001554 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001554 + 0,006570 + 0 = 0,008124 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 1,100309 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 1,100309 = 4,4944 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 1,100309 + 414,45 \cdot 3,39) / (3,39 + 1,100309) = 384,72 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 384,72 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((384,72 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (384,72 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,49 / (0,91 \cdot 0,36) = 13,60 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 13,60^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 113,01 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 13,60 \cdot 0,6 / (22,96 \cdot 10^{-6}) = 355437$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,49 / (0,91 \cdot 0,46) = 10,64 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 10,64^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,64 + 0,3) = 16,88 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,64 \cdot 0,64 / (22,96 \cdot 10^{-6}) = 300369$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,4944 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,4944 / 0,9175 \cdot 3600 = 17634 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 847,19 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 112 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,48 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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: ВД2.6., ПД2.6. Секция 6 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 11,61 м

Площадь коридора, A_c : 17,48 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 4 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 17,48 / 11,61) / 11,61 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 11,61 / (2 \cdot 1,48 + 17,48 / 11,61))) = 413 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 413 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,85 \cdot 3600 = 14305 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,41 \cdot 0,85) = 9,57 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,27 + 2,7) \cdot 9,57^2 \cdot 0,85 = 116,28 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 116,28 - 23,32 = -137,48 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фВВ}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{ВВ}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -137,48)^{0,65} = 0,000237 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 11,76 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -137,48)^{0,65} = 0,003097 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003097 + 0,000237 + 0 = 0,003334 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,003334 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,003334 = 3,3974 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,003334 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003334) = 413,14 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 413,14 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((413,14 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (413,14 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,54) = 7,36 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ВВ}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} / D_{\text{ЭВВ}} + Z_{\text{ВВ}}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 7,36^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,72 + 1) = 23,32 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 7,36 \cdot 0,72 / (26,24 \cdot 10^{-6}) = 202046$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,48) = 8,19 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,19^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 11,52 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,19 \cdot 0,65 / (26,24 \cdot 10^{-6}) = 206170$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -137,48 - 11,52 = -149,00 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((0,69 - -149,00) / 11000)} = 0,048413 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -149,00)^{0,65} = 0,000249 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -149,00)^{0,65} = 0,002449 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002449 + 0,000249 + 0,048413 = 0,051113 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,054447 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,054447 = 3,4485 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,054447 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,054447) = 411,36 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ K} = 353 / 411,36 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((411,36 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (411,36 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,03 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,85 \cdot 0,48) = 8,28 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,28^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,06 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,28 \cdot 0,65 / (26,03 \cdot 10^{-6}) = 210035$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -149,00 - 11,06 = -160,07 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((0,87 - -160,07) / 11000)} = 0,050199 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -160,07)^{0,65} = 0,000262 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -160,07)^{0,65} = 0,002567 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002567 + 0,000262 + 0,050199 = 0,053029 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{ф} = 0,107476 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,107476 = 3,5015 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_{а}) = \\ (293 \cdot 0,107476 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,107476) = 409,57 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 409,57 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((409,57 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (409,57 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,50 / (0,86 \cdot 0,48) = 8,37 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,37^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,35 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,37 \cdot 0,65 / (25,82 \cdot 10^{-6}) = 214053$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -160,07 - 11,35 = -171,42 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,05 - -171,42) / 11000)} = 0,051966 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -171,42)^{0,65} = 0,000274 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -171,42)^{0,65} = 0,002686 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002686 + 0,000274 + 0,051966 = 0,054927 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,162403 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,162403 = 3,5565 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,162403 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,162403) = 407,77 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 407,77 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((407,77 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (407,77 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,86 \cdot 0,48) = 8,47 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,47^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,65 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,47 \cdot 0,65 / (25,61 \cdot 10^{-6}) = 218226$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -171,42 - 11,65 = -183,08 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,23 - -183,08) / 11000)} = 0,053720 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -183,08)^{0,65} = 0,000286 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -183,08)^{0,65} = 0,002804 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002804 + 0,000286 + 0,053720 = 0,056810 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,219214 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,219214 = 3,6133 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,219214 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,219214) = 405,96 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 405,96 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((405,96 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (405,96 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,61 / (0,86 \cdot 0,48) = 8,56 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,56^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,97 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,56 \cdot 0,65 / (25,40 \cdot 10^{-6}) = 222551$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -183,08 - 11,97 = -195,05 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,41 - -195,05) / 11000)} = 0,055462 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -195,05)^{0,65} = 0,000298 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -195,05)^{0,65} = 0,002923 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,002923 + 0,000298 + 0,055462 = 0,058684 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,277898 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,277898 = 3,6720 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,277898 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,277898) = 404,16 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 404,16 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((404,16 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (404,16 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,87 \cdot 0,48) = 8,66 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 8,66^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 12,30 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,66 \cdot 0,65 / (25,19 \cdot 10^{-6}) = 227029$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -195,05 - 12,30 = -207,35 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,59 - -207,35) / 11000)} = 0,057197 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -207,35)^{0,65} = 0,000310 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -207,35)^{0,65} = 0,003042 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003042 + 0,000310 + 0,057197 = 0,060550 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,338448 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,338448 = 3,7325 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,338448 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,338448) = 402,35 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 402,35 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((402,35 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (402,35 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,73 / (0,87 \cdot 0,48) = 8,77 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 8,77^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 12,64 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,77 \cdot 0,65 / (24,98 \cdot 10^{-6}) = 231661$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -207,35 - 12,64 = -220,00 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,77 - -220,00) / 11000)} = 0,058926 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -220,00)^{0,65} = 0,000322 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -220,00)^{0,65} = 0,003162 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003162 + 0,000322 + 0,058926 = 0,062411 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,400860 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,400860 = 3,7949 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,400860 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,400860) = 400,55 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 400,55 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((400,55 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (400,55 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,79 / (0,88 \cdot 0,48) = 8,87 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 8,87^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 13,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,87 \cdot 0,65 / (24,77 \cdot 10^{-6}) = 236446$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -220,00 - 13,00 = -233,01 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,94 - -233,01) / 11000)} = 0,060652 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -233,01)^{0,65} = 0,000335 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -233,01)^{0,65} = 0,003283 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003283 + 0,000335 + 0,060652 = 0,064271 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,465132 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,465132 = 3,8592 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,465132 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,465132) = 398,76 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 398,76 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((398,76 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (398,76 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,85 / (0,88 \cdot 0,48) = 8,98 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 8,98^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 13,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,98 \cdot 0,65 / (24,57 \cdot 10^{-6}) = 241386$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -233,01 - 13,38 = -246,39 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,12 - -246,39) / 11000)} = 0,062378 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -246,39)^{0,65} = 0,000347 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -246,39)^{0,65} = 0,003405 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003405 + 0,000347 + 0,062378 = 0,066132 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,531264 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,531264 = 3,9253 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,531264 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,531264) = 396,98 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 396,98 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((396,98 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (396,98 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,92 / (0,88 \cdot 0,48) = 9,10 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,10^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 13,77 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,10 \cdot 0,65 / (24,36 \cdot 10^{-6}) = 246480$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -246,39 - 13,77 = -260,17 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,30 - -260,17) / 11000)} = 0,064106 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -260,17)^{0,65} = 0,000360 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -260,17)^{0,65} = 0,003528 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003528 + 0,000360 + 0,064106 = 0,067995 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,599260 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,599260 = 3,9933 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,599260 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,599260) = 395,21 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 395,21 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((395,21 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (395,21 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,99 / (0,89 \cdot 0,48) = 9,21 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,21^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 14,18 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,21 \cdot 0,65 / (24,16 \cdot 10^{-6}) = 251730$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -260,17 - 14,18 = -274,36 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,48 - -274,36) / 11000)} = 0,065837 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -274,36)^{0,65} = 0,000372 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -274,36)^{0,65} = 0,003653 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003653 + 0,000372 + 0,065837 = 0,069863 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,669123 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,669123 = 4,0632 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,669123 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,669123) = 393,45 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 393,45 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((393,45 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (393,45 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,06 / (0,89 \cdot 0,48) = 9,33 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,33^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 14,61 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,33 \cdot 0,65 / (23,96 \cdot 10^{-6}) = 257137$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -274,36 - 14,61 = -288,97 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,66 - -288,97) / 11000)} = 0,067573 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -288,97)^{0,65} = 0,000385 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -288,97)^{0,65} = 0,003778 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003778 + 0,000385 + 0,067573 = 0,071738 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,740861 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,740861 = 4,1349 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,740861 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,740861) = 391,71 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 391,71 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((391,71 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (391,71 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,13 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,46 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,46^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 15,05 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,46 \cdot 0,65 / (23,76 \cdot 10^{-6}) = 262702$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -288,97 - 15,05 = -304,03 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,84 - -304,03) / 11000)} = 0,069316 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -304,03)^{0,65} = 0,000398 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -304,03)^{0,65} = 0,003906 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003906 + 0,000398 + 0,069316 = 0,073621 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,814482 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,814482 = 4,2086 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,814482 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,814482) = 389,98 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 389,98 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((389,98 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (389,98 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,20 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,58 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,58^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 15,52 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,58 \cdot 0,65 / (23,56 \cdot 10^{-6}) = 268425$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -304,03 - 15,52 = -319,55 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((3,02 - -319,55) / 11000)} = 0,071067 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -319,55)^{0,65} = 0,000411 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -319,55)^{0,65} = 0,004034 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004034 + 0,000411 + 0,071067 = 0,075514 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,889996 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,889996 = 4,2841 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,889996 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,889996) = 388,27 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{К} = 353 / 388,27 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((388,27 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (388,27 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,28 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,71 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,71^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 16,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{в}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,71 \cdot 0,65 / (23,37 \cdot 10^{-6}) = 274310$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -319,55 - 16,00 = -335,56 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -335,56)^{0,65} = 0,005667 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,94 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -335,56)^{0,65} = 0,001388 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001388 + 0,005667 + 0 = 0,007056 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,897053 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,897053 = 4,2911 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,897053 + 413,26 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,897053) = 388,12 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 388,12 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((388,12 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (388,12 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,29 / (0,90 \cdot 0,36) = 13,10 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,10^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 103,99 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 13,10 \cdot 0,6 / (23,35 \cdot 10^{-6}) = 336704$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,29 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,72 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,72^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,65 + 0,3) = 13,95 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,72 \cdot 0,65 / (23,35 \cdot 10^{-6}) = 274860$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2911 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2911 / 0,9095 \cdot 3600 = 16985 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 724,34 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 116 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,47 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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: ВД2.7., ПД2.7. Секция 7 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 11,21 м

Площадь коридора, A_c : 16,89 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение 0,342 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 900 х 500 мм, Сечение $0,342 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,45 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,46 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 16,89 / 11,21) / 11,21 \cdot \\ (1 - \exp(-0.58 \cdot 11,21 / (2 \cdot 1,48 + 16,89 / 11,21))) = 416 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 416 = 0,84 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,84 \cdot 3600 = 14388 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,34 \cdot 0,84) = 11,68 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,29 + 2,7) \cdot 11,68^2 \cdot 0,84 = 173,39 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 173,39 - 33,82 = -205,08 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фВВ}} = \rho_B / 3600 \cdot S_{\text{ВВ}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -205,08)^{0,65} = 0,000286 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 11,36 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -205,08)^{0,65} = 0,003877 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003877 + 0,000286 + 0 = 0,004163 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,004163 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,004163 = 3,3982 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = (293 \cdot 0,004163 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004163) = 415,53 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 415,53 = 0,84 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((415,53 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (415,53 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,51 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,84 \cdot 0,45) = 8,88 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ВВ}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ВВ}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} / D_{\text{ЭВВ}} + Z_{\text{ВВ}}) = 0,5 \cdot 0,84 \cdot 8,88^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,64 + 1) = 33,82 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 8,88 \cdot 0,64 / (26,51 \cdot 10^{-6}) = 215487$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,84 \cdot 0,46) = 8,69 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,84 \cdot 8,69^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,64 + 0,3) = 12,93 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,69 \cdot 0,64 / (26,51 \cdot 10^{-6}) = 212452$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -205,08 - 12,93 = -218,02 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,69 - -218,02) / 11000)} = 0,048225 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -218,02)^{0,65} = 0,000298 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -218,02)^{0,65} = 0,003027 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003027 + 0,000298 + 0,048225 = 0,051551 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,055715 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,055715 = 3,4498 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,055715 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,055715) = 413,7 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 413,7 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((413,7 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (413,7 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,78 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,78^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,42 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,78 \cdot 0,64 / (26,30 \cdot 10^{-6}) = 216475$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -218,02 - 12,42 = -230,44 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((0,87 - -230,44) / 11000)} = 0,049595 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -230,44)^{0,65} = 0,000309 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_{в} / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -230,44)^{0,65} = 0,003140 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003140 + 0,000309 + 0,049595 = 0,053044 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{ф} = 0,108760 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_{а} = 3,3941 + 0,108760 = 3,5028 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{в} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_{а}) = \\ (293 \cdot 0,108760 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,108760) = 411,87 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 411,87 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((411,87 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (411,87 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,50 / (0,85 \cdot 0,46) = 8,88 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,88^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 12,74 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,88 \cdot 0,64 / (26,09 \cdot 10^{-6}) = 220624$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_{в}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -230,44 - 12,74 = -243,18 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,05 - -243,18) / 11000)} = 0,050961 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_{в} / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_{в} - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -243,18)^{0,65} = 0,000320 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -243,18)^{0,65} = 0,003252 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003252 + 0,000320 + 0,050961 = 0,054535 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,163296 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,163296 = 3,5574 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,163296 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,163296) = 410,04 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 410,04 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((410,04 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (410,04 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,86 \cdot 0,46) = 8,98 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,98^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,07 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,98 \cdot 0,64 / (25,87 \cdot 10^{-6}) = 224900$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -243,18 - 13,07 = -256,26 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,23 - -256,26) / 11000)} = 0,052326 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -256,26)^{0,65} = 0,000331 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -256,26)^{0,65} = 0,003366 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003366 + 0,000331 + 0,052326 = 0,056024 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,219320 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,219320 = 3,6134 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,219320 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,219320) = 408,23 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 408,23 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((408,23 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (408,23 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,61 / (0,86 \cdot 0,46) = 9,08 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 9,08^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,42 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,08 \cdot 0,64 / (25,66 \cdot 10^{-6}) = 229303$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -256,26 - 13,42 = -269,69 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,41 - -269,69) / 11000)} = 0,053690 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -269,69)^{0,65} = 0,000343 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -269,69)^{0,65} = 0,003481 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003481 + 0,000343 + 0,053690 = 0,057515 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,276836 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,276836 = 3,6709 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,276836 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,276836) = 406,42 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 406,42 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((406,42 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (406,42 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,86 \cdot 0,46) = 9,18 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 9,18^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 13,78 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / v = 9,18 \cdot 0,64 / (25,45 \cdot 10^{-6}) = 233833$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{НН}} + P_{\text{НЗ}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -269,69 - 13,78 = -283,47 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,59 - -283,47) / 11000)} = 0,055056 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -283,47)^{0,65} = 0,000354 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -283,47)^{0,65} = 0,003596 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003596 + 0,000354 + 0,055056 = 0,059007 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,335843 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,335843 = 3,7299 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,335843 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,335843) = 404,63 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 404,63 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((404,63 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (404,63 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,72 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,29 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,29^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,16 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,29 \cdot 0,64 / (25,24 \cdot 10^{-6}) = 238492$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -283,47 - 14,16 = -297,64 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,77 - -297,64) / 11000)} = 0,056424 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -297,64)^{0,65} = 0,000366 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -297,64)^{0,65} = 0,003713 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003713 + 0,000366 + 0,056424 = 0,060503 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,396347 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,396347 = 3,7904 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,396347 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,396347) = 402,85 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 402,85 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((402,85 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (402,85 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,79 / (0,87 \cdot 0,46) = 9,40 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,87 \cdot 9,40^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,55 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,40 \cdot 0,64 / (25,04 \cdot 10^{-6}) = 243280$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -297,64 - 14,55 = -312,19 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((1,94 - -312,19) / 11000)} = 0,057795 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -312,19)^{0,65} = 0,000377 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -312,19)^{0,65} = 0,003831 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003831 + 0,000377 + 0,057795 = 0,062004 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,458351 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,458351 = 3,8524 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,458351 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,458351) = 401,08 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 401,08 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((401,08 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (401,08 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,83 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,85 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,51 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,51^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 14,96 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,51 \cdot 0,64 / (24,83 \cdot 10^{-6}) = 248199$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -312,19 - 14,96 = -327,15 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,12 - -327,15) / 11000)} = 0,059171 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -327,15)^{0,65} = 0,000389 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -327,15)^{0,65} = 0,003950 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003950 + 0,000389 + 0,059171 = 0,063511 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,521863 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,521863 = 3,9159 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,521863 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,521863) = 399,33 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 399,33 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((399,33 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (399,33 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,91 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,63 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,63^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,63 \cdot 0,64 / (24,63 \cdot 10^{-6}) = 253248$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -327,15 - 15,38 = -342,53 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,30 - -342,53) / 11000)} = 0,060553 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -342,53)^{0,65} = 0,000401 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -342,53)^{0,65} = 0,004070 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004070 + 0,000401 + 0,060553 = 0,065025 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,586888 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,586888 = 3,981 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,586888 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,586888) = 397,59 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 397,59 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((397,59 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (397,59 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,98 / (0,88 \cdot 0,46) = 9,74 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,74^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 15,81 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,74 \cdot 0,64 / (24,43 \cdot 10^{-6}) = 258429$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -342,53 - 15,81 = -358,35 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,48 - -358,35) / 11000)} = 0,061942 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -358,35)^{0,65} = 0,000413 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -358,35)^{0,65} = 0,004192 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004192 + 0,000413 + 0,061942 = 0,066548 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,653436 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,653436 = 4,0475 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,653436 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,653436) = 395,87 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 395,87 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((395,87 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (395,87 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,04 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,86 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,86^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,27 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,86 \cdot 0,64 / (24,24 \cdot 10^{-6}) = 263744$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -358,35 - 16,27 = -374,62 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,66 - -374,62) / 11000)} = 0,063338 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -374,62)^{0,65} = 0,000425 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -374,62)^{0,65} = 0,004315 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004315 + 0,000425 + 0,063338 = 0,068079 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,721516 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,721516 = 4,1156 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,721516 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,721516) = 394,17 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 394,17 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((394,17 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (394,17 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,11 / (0,89 \cdot 0,46) = 9,99 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,99^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 16,74 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,99 \cdot 0,64 / (24,04 \cdot 10^{-6}) = 269193$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -374,62 - 16,74 = -391,37 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((2,84 - -391,37) / 11000)} = 0,064743 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -391,37)^{0,65} = 0,000437 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -391,37)^{0,65} = 0,004440 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004440 + 0,000437 + 0,064743 = 0,069621 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,791138 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,791138 = 4,1852 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,791138 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,791138) = 392,49 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 392,49 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((392,49 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (392,49 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,18 / (0,89 \cdot 0,46) = 10,11 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 10,11^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,23 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,11 \cdot 0,64 / (23,85 \cdot 10^{-6}) = 274779$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -391,37 - 17,23 = -408,60 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,34 \cdot \sqrt{((3,02 - -408,60) / 11000)} = 0,066157 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -408,60)^{0,65} = 0,000450 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,52 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -408,60)^{0,65} = 0,004566 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004566 + 0,000450 + 0,066157 = 0,071174 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,862313 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,862313 = 4,2564 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,862313 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,862313) = 390,82 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 390,82 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((390,82 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,82 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,25 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,24 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,24^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,64 + 0,3) = 17,73 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{в}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эв}} / \nu = 10,24 \cdot 0,64 / (23,66 \cdot 10^{-6}) = 280501$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

$$P_{\text{нн.в}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{выброс}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -408,60 - 17,73 = -426,33 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -426,33)^{0,65} = 0,006613 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 2,84 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -426,33)^{0,65} = 0,001565 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001565 + 0,006613 + 0 = 0,008178 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,870491 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,870491 = 4,2646 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,870491 + 415,68 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,870491) = 390,63 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 390,63 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((390,63 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,63 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,26 / (0,90 \cdot 0,36) = 13,10 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

$$\Delta P_{\text{сети}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{вв}}^2 \cdot (\lambda_{\text{вв}} \cdot L_{\text{вв}} / D_{\text{эвв}} + Z_{\text{вв}}) = \\ 0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,10^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 103,39 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 13,10 \cdot 0,6 / (23,64 \cdot 10^{-6}) = 332705$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,26 / (0,90 \cdot 0,46) = 10,25 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,90 \cdot 10,25^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,64 + 0,3) = 15,44 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,25 \cdot 0,64 / (23,64 \cdot 10^{-6}) = 281159$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2646 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2646 / 0,9036 \cdot 3600 = 16990 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 850,36 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 118 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,47 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

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: ВД2.8., ПД2.8. Секция 8 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 15,88 м

Площадь коридора, A_c : 23,9 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение 0,363 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 800 х 600 мм, Сечение $0,363 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 23,9 / 15,88) / 15,88 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 15,88 / (2 \cdot 1,48 + 23,9 / 15,88))) = 392 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 392 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,90 \cdot 3600 = 13554 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,90) = 10,37 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 10,37^2 \cdot 0,90 = 144,49 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 144,49 - 27,98 = -170,34 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -170,34)^{0,65} = 0,000254 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 10,96 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -170,34)^{0,65} = 0,003316 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003316 + 0,000254 + 0 = 0,003570 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,003570 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,003570 = 3,3976 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,003570 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003570) = 391,45 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 391,45 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((391,45 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (391,45 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,90 \cdot 0,48) = 7,84 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 7,84^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 27,98 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 7,84 \cdot 0,68 / (23,73 \cdot 10^{-6}) = 226785$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,90 \cdot 0,43) = 8,66 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 8,66^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,63 + 0,3) = 13,65 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 8,66 \cdot 0,63 / (23,73 \cdot 10^{-6}) = 231751$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -170,34 - 13,65 = -184,00 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((0,69 - -184,00) / 11000)} = 0,047037 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -184,00)^{0,65} = 0,000267 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -184,00)^{0,65} = 0,002617 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002617 + 0,000267 + 0,047037 = 0,049922 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,053493 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,053493 = 3,4476 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,053493 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,053493) = 390,03 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 390,03 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((390,03 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (390,03 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,90 \cdot 0,43) = 8,75 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 8,75^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 13,10 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,75 \cdot 0,63 / (23,57 \cdot 10^{-6}) = 235916$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -184,00 - 13,10 = -197,10 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((0,87 - -197,10) / 11000)} = 0,048699 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -197,10)^{0,65} = 0,000279 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -197,10)^{0,65} = 0,002738 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,002738 + 0,000279 + 0,048699 = 0,051717 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,105210 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,105210 = 3,4993 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,105210 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,105210) = 388,59 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 388,59 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((388,59 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (388,59 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,49 / (0,90 \cdot 0,43) = 8,85 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,90 \cdot 8,85^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 13,44 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,85 \cdot 0,63 / (23,40 \cdot 10^{-6}) = 240239$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -197,10 - 13,44 = -210,55 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((1,05 - -210,55) / 11000)} = 0,050347 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -210,55)^{0,65} = 0,000292 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -210,55)^{0,65} = 0,002859 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002859 + 0,000292 + 0,050347 = 0,053498 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,158708 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,158708 = 3,5528 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,158708 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,158708) = 387,15 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 387,15 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((387,15 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (387,15 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,91 \cdot 0,43) = 8,95 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 8,95^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 13,79 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,95 \cdot 0,63 / (23,24 \cdot 10^{-6}) = 244719$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -210,55 - 13,79 = -224,35 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((1,23 - -224,35) / 11000)} = 0,051983 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -224,35)^{0,65} = 0,000304 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -224,35)^{0,65} = 0,002980 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002980 + 0,000304 + 0,051983 = 0,055268 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,213977 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,213977 = 3,6080 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,213977 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,213977) = 385,71 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 385,71 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((385,71 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (385,71 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,08 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,60 / (0,91 \cdot 0,43) = 9,06 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,91 \cdot 9,06^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 14,17 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,06 \cdot 0,63 / (23,08 \cdot 10^{-6}) = 249357$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -224,35 - 14,17 = -238,52 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((1,41 - -238,52) / 11000)} = 0,053611 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -238,52)^{0,65} = 0,000317 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -238,52)^{0,65} = 0,003102 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003102 + 0,000317 + 0,053611 = 0,057030 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,271007 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,271007 = 3,6651 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,271007 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,271007) = 384,27 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 384,27 = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((384,27 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (384,27 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,66 / (0,91 \cdot 0,43) = 9,17 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,91 \cdot 9,17^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 14,56 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 9,17 \cdot 0,63 / (22,91 \cdot 10^{-6}) = 254151$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -238,52 - 14,56 = -253,08 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((1,59 - -253,08) / 11000)} = 0,055233 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -253,08)^{0,65} = 0,000329 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -253,08)^{0,65} = 0,003224 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003224 + 0,000329 + 0,055233 = 0,058787 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,329795 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,329795 = 3,7239 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,329795 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,329795) = 382,83 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 382,83 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$v = (\sqrt{2} \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + v1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + v0) / 10^6 =$$

$$(63,763736 \cdot ((382,83 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (382,83 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,72 / (0,92 \cdot 0,43) = 9,28 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,92 \cdot 9,28^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 14,96 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,28 \cdot 0,63 / (22,75 \cdot 10^{-6}) = 259103$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -253,08 - 14,96 = -268,04 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((1,77 - -268,04) / 11000)} = 0,056852 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -268,04)^{0,65} = 0,000342 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -268,04)^{0,65} = 0,003348 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003348 + 0,000342 + 0,056852 = 0,060542 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,390338 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,390338 = 3,7844 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,390338 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,390338) = 381,39 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 381,39 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((381,39 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (381,39 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,78 / (0,92 \cdot 0,43) = 9,39 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,92 \cdot 9,39^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 15,39 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,39 \cdot 0,63 / (22,59 \cdot 10^{-6}) = 264212$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -268,04 - 15,39 = -283,44 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((1,94 - -283,44) / 11000)} = 0,058469 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -283,44)^{0,65} = 0,000354 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -283,44)^{0,65} = 0,003472 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003472 + 0,000354 + 0,058469 = 0,062297 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,452635 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,452635 = 3,8467 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) = \\ (293 \cdot 0,452635 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,452635) = 379,96 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 379,96 = 0,92 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((379,96 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (379,96 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,84 / (0,92 \cdot 0,43) = 9,51 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,92 \cdot 9,51^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 15,83 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,51 \cdot 0,63 / (22,43 \cdot 10^{-6}) = 269479$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -283,44 - 15,83 = -299,27 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((2,12 - -299,27) / 11000)} = 0,060087 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -299,27)^{0,65} = 0,000367 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -299,27)^{0,65} = 0,003598 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003598 + 0,000367 + 0,060087 = 0,064053 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,516688 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,516688 = 3,9108 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,516688 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,516688) = 378,53 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 378,53 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((378,53 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (378,53 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,91 / (0,93 \cdot 0,43) = 9,64 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,93 \cdot 9,64^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 16,29 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,64 \cdot 0,63 / (22,27 \cdot 10^{-6}) = 274904$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -299,27 - 16,29 = -315,57 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((2,30 - -315,57) / 11000)} = 0,061707 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -315,57)^{0,65} = 0,000380 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -315,57)^{0,65} = 0,003724 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003724 + 0,000380 + 0,061707 = 0,065813 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,582501 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,582501 = 3,9766 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,582501 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,582501) = 377,12 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 377,12 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((377,12 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (377,12 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 22,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,97 / (0,93 \cdot 0,43) = 9,76 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,93 \cdot 9,76^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 16,77 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,76 \cdot 0,63 / (22,11 \cdot 10^{-6}) = 280490$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -315,57 - 16,77 = -332,34 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((2,48 - -332,34) / 11000)} = 0,063332 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -332,34)^{0,65} = 0,000393 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -332,34)^{0,65} = 0,003852 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003852 + 0,000393 + 0,063332 = 0,067578 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,650080 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,650080 = 4,0441 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,650080 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,650080) = 375,71 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 375,71 = 0,93 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((375,71 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (375,71 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,04 / (0,93 \cdot 0,43) = 9,89 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,93 \cdot 9,89^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 17,27 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,89 \cdot 0,63 / (21,95 \cdot 10^{-6}) = 286235$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -332,34 - 17,27 = -349,62 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,36 \cdot \sqrt{((2,66 - -349,62) / 11000)} = 0,064962 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -349,62)^{0,65} = 0,000406 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -349,62)^{0,65} = 0,003982 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003982 + 0,000406 + 0,064962 = 0,069351 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,719431 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,719431 = 4,1135 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,719431 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,719431) = 374,32 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 374,32 = 0,94 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((374,32 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (374,32 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,79 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,11 / (0,94 \cdot 0,43) = 10,02 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 10,02^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 17,80 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,02 \cdot 0,63 / (21,79 \cdot 10^{-6}) = 292143$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -349,62 - 17,80 = -367,42 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((2,84 - -367,42) / 11000)} = 0,066599 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -367,42)^{0,65} = 0,000420 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -367,42)^{0,65} = 0,004113 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004113 + 0,000420 + 0,066599 = 0,071132 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,790564 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,790564 = 4,1846 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,790564 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,790564) = 372,94 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

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

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((372,94 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (372,94 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,18 / (0,94 \cdot 0,43) = 10,16 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,94 \cdot 10,16^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 18,34 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,16 \cdot 0,63 / (21,64 \cdot 10^{-6}) = 298213$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -367,42 - 18,34 = -385,77 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,36 \cdot \sqrt{((3,02 - -385,77) / 11000)} = 0,068244 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -385,77)^{0,65} = 0,000433 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,22 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -385,77)^{0,65} = 0,004245 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004245 + 0,000433 + 0,068244 = 0,072924 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,863488 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,863488 = 4,2576 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,863488 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,863488) = 371,57 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 371,57 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((371,57 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (371,57 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,25 / (0,95 \cdot 0,43) = 10,30 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 10,30^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,63 + 0,3) = 18,90 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,30 \cdot 0,63 / (21,48 \cdot 10^{-6}) = 304448$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -385,77 - 18,90 = -404,68 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -404,68)^{0,65} = 0,006394 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,74 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -404,68)^{0,65} = 0,001460 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001460 + 0,006394 + 0 = 0,007854 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,871343 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,871343 = 4,2654 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,871343 + 391,56 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,871343) = 371,42 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 371,42 = 0,95 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((371,42 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (371,42 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 21,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,26 / (0,95 \cdot 0,36) = 12,46 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 12,46^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 98,29 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 12,46 \cdot 0,6 / (21,47 \cdot 10^{-6}) = 348345$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,26 / (0,95 \cdot 0,43) = 10,31 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,95 \cdot 10,31^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,63 + 0,3) = 16,44 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,31 \cdot 0,63 / (21,47 \cdot 10^{-6}) = 305120$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2654 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2654 / 0,9503 \cdot 3600 = 16157 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 778,97 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 99 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,44 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

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: ВД2.9., ПД2.9. Секция 9 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 11,61 м

Площадь коридора, A_c : 17,49 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 4 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение 0,415 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 900 х 600 мм, Сечение $0,415 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,54 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,48 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} = \\ 293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 17,49 / 11,61) / 11,61 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 11,61 / (2 \cdot 1,48 + 17,49 / 11,61))) = 413 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 413 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,85 \cdot 3600 = 14305 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,41 \cdot 0,85) = 9,57 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,27 + 2,7) \cdot 9,57^2 \cdot 0,85 = 116,29 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{HH} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{ВВ} = 2,12 - 116,29 - 23,32 = -137,48 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фВВ} = \rho_B / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -137,48)^{0,65} = 0,000237 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фШ} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 11,76 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -137,48)^{0,65} = 0,003097 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фШ} + G_{фВВ} + G_{фкл} = 0,003097 + 0,000237 + 0 = 0,003334 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003334 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003334 = 3,3974 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003334 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003334) = 413,15 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 413,15 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((413,15 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (413,15 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{ВВ} = G_{Ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ВВ}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,54) = 7,36 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{ВВ} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ВВ}^2 \cdot (\lambda_{ВВ} \cdot L_{ВВ} / D_{ЭВВ} + Z_{ВВ}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 7,36^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,72 + 1) = 23,32 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{ВВ} = V_{ВВ} \cdot D_{ЭВВ} / \nu = 7,36 \cdot 0,72 / (26,24 \cdot 10^{-6}) = 202041$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{Ш}) = 3,39 / (0,85 \cdot 0,48) = 8,19 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,19^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 11,52 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,19 \cdot 0,65 / (26,24 \cdot 10^{-6}) = 206164$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -137,48 - 11,52 = -149,00 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((0,69 - -149,00) / 11000)} = 0,048414 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -149,00)^{0,65} = 0,000249 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -149,00)^{0,65} = 0,002449 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002449 + 0,000249 + 0,048414 = 0,051114 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,054448 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,054448 = 3,4485 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,054448 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,054448) = 411,37 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 411,37 = 0,85 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((411,37 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (411,37 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 26,03 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,85 \cdot 0,48) = 8,28 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,85 \cdot 8,28^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,06 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,28 \cdot 0,65 / (26,03 \cdot 10^{-6}) = 210029$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_P) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -149,00 - 11,06 = -160,07 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((0,87 - -160,07) / 11000)} = 0,050200 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -160,07)^{0,65} = 0,000262 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -160,07)^{0,65} = 0,002567 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,002567 + 0,000262 + 0,050200 = 0,053030 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,107478 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,107478 = 3,5015 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,107478 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,107478) = 409,58 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 409,58 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((409,58 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (409,58 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,50 / (0,86 \cdot 0,48) = 8,37 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,37^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,35 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,37 \cdot 0,65 / (25,82 \cdot 10^{-6}) = 214048$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -160,07 - 11,35 = -171,43 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,05 - -171,43) / 11000)} = 0,051967 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -171,43)^{0,65} = 0,000274 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -171,43)^{0,65} = 0,002686 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002686 + 0,000274 + 0,051967 = 0,054927 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,162406 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,162406 = 3,5565 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,162406 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,162406) = 407,78 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 407,78 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((407,78 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (407,78 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,55 / (0,86 \cdot 0,48) = 8,47 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,47^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,65 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 8,47 \cdot 0,65 / (25,61 \cdot 10^{-6}) = 218220$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -171,43 - 11,65 = -183,09 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,23 - -183,09) / 11000)} = 0,053721 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -183,09)^{0,65} = 0,000286 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -183,09)^{0,65} = 0,002804 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002804 + 0,000286 + 0,053721 = 0,056811 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,219217 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,219217 = 3,6133 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,219217 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,219217) = 405,97 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 405,97 = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((405,97 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (405,97 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,61 / (0,86 \cdot 0,48) = 8,56 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,86 \cdot 8,56^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 11,97 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,56 \cdot 0,65 / (25,40 \cdot 10^{-6}) = 222545$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -183,09 - 11,97 = -195,06 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,41 - -195,06) / 11000)} = 0,055463 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -195,06)^{0,65} = 0,000298 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -195,06)^{0,65} = 0,002923 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,002923 + 0,000298 + 0,055463 = 0,058685 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,277903 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,277903 = 3,6720 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,277903 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,277903) = 404,17 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 404,17 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((404,17 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (404,17 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 25,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,67 / (0,87 \cdot 0,48) = 8,66 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,87 \cdot 8,66^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 12,30 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 8,66 \cdot 0,65 / (25,19 \cdot 10^{-6}) = 227024$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(\text{и-1})} - \Delta P_{\text{ш}(\text{и-1})} = -195,06 - 12,30 = -207,36 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,59 - -207,36) / 11000)} = 0,057198 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -207,36)^{0,65} = 0,000310 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -207,36)^{0,65} = 0,003042 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003042 + 0,000310 + 0,057198 = 0,060551 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,338454 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,338454 = 3,7325 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,338454 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,338454) = 402,36 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 402,36 = 0,87 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((402,36 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (402,36 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,73 / (0,87 \cdot 0,48) = 8,77 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,87 \cdot 8,77^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 12,64 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,77 \cdot 0,65 / (24,98 \cdot 10^{-6}) = 231656$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(\text{i}-1)} - \Delta P_{\text{ш}(\text{i}-1)} = -207,36 - 12,64 = -220,01 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,77 - -220,01) / 11000)} = 0,058927 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -220,01)^{0,65} = 0,000322 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -220,01)^{0,65} = 0,003162 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003162 + 0,000322 + 0,058927 = 0,062412 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,400867 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,400867 = 3,7949 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,400867 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,400867) = 400,57 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 400,57 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((400,57 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (400,57 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,79 / (0,88 \cdot 0,48) = 8,87 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,88 \cdot 8,87^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 13,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 8,87 \cdot 0,65 / (24,78 \cdot 10^{-6}) = 236441$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -220,01 - 13,00 = -233,02 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((1,94 - -233,02) / 11000)} = 0,060653 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -233,02)^{0,65} = 0,000335 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -233,02)^{0,65} = 0,003283 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003283 + 0,000335 + 0,060653 = 0,064272 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,465140 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,465140 = 3,8592 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,465140 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,465140) = 398,77 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 398,77 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((398,77 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (398,77 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,85 / (0,88 \cdot 0,48) = 8,98 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,88 \cdot 8,98^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 13,38 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 8,98 \cdot 0,65 / (24,57 \cdot 10^{-6}) = 241380$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -233,02 - 13,38 = -246,40 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,12 - -246,40) / 11000)} = 0,062379 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -246,40)^{0,65} = 0,000347 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -246,40)^{0,65} = 0,003405 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003405 + 0,000347 + 0,062379 = 0,066133 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,531273 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,531273 = 3,9253 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,531273 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,531273) = 396,99 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 396,99 = 0,88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((396,99 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (396,99 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,92 / (0,88 \cdot 0,48) = 9,10 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,88 \cdot 9,10^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 13,77 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,10 \cdot 0,65 / (24,36 \cdot 10^{-6}) = 246475$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_H - \rho_{пг}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -246,40 - 13,77 = -260,18 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,30 - -260,18) / 11000)} = 0,064107 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -260,18)^{0,65} = 0,000360 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -260,18)^{0,65} = 0,003528 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003528 + 0,000360 + 0,064107 = 0,067996 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,599270 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,599270 = 3,9933 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,599270 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,599270) = 395,22 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 395,22 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((395,22 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (395,22 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 24,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,99 / (0,89 \cdot 0,48) = 9,21 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,21^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 14,18 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,21 \cdot 0,65 / (24,16 \cdot 10^{-6}) = 251725$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -260,18 - 14,18 = -274,37 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,48 - -274,37) / 11000)} = 0,065838 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -274,37)^{0,65} = 0,000372 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -274,37)^{0,65} = 0,003653 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003653 + 0,000372 + 0,065838 = 0,069864 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,669134 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,669134 = 4,0632 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,669134 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,669134) = 393,46 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 393,46 = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((393,46 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (393,46 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,06 / (0,89 \cdot 0,48) = 9,33 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{\text{Эш}} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,89 \cdot 9,33^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 14,61 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 9,33 \cdot 0,65 / (23,96 \cdot 10^{-6}) = 257132$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -274,37 - 14,61 = -288,98 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,66 - -288,98) / 11000)} = 0,067574 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -288,98)^{0,65} = 0,000385 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -288,98)^{0,65} = 0,003779 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003779 + 0,000385 + 0,067574 = 0,071739 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,740874 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,740874 = 4,1349 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,740874 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,740874) = 391,72 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 391,72 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((391,72 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (391,72 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,13 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,46 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,46^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 15,05 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / v = 9,46 \cdot 0,65 / (23,76 \cdot 10^{-6}) = 262696$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -288,98 - 15,05 = -304,04 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,41 \cdot \sqrt{((2,84 - -304,04) / 11000)} = 0,069317 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -304,04)^{0,65} = 0,000398 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -304,04)^{0,65} = 0,003906 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003906 + 0,000398 + 0,069317 = 0,073622 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,814496 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,814496 = 4,2086 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,814496 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,814496) = 389,99 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 389,99 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

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

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,20 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,58 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,58^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 15,52 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,58 \cdot 0,65 / (23,56 \cdot 10^{-6}) = 268420$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -304,04 - 15,52 = -319,56 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,41 \cdot \sqrt{((3,02 - -319,56) / 11000)} = 0,071068 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,9 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -319,56)^{0,65} = 0,000411 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 8,82 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -319,56)^{0,65} = 0,004035 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004035 + 0,000411 + 0,071068 = 0,075515 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,890012 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,890012 = 4,2841 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,890012 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,890012) = 388,28 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{К} = 353 / 388,28 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((388,28 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (388,28 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,28 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,71 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,71^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,65 + 0,3) = 16,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{в}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эв}} / \nu = 9,71 \cdot 0,65 / (23,37 \cdot 10^{-6}) = 274304$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -319,56 - 16,00 = -335,57 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -335,57)^{0,65} = 0,005667 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 2,94 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -335,57)^{0,65} = 0,001388 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001388 + 0,005667 + 0 = 0,007056 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,897068 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,897068 = 4,2911 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,897068 + 413,27 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,897068) = 388,13 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 388,13 = 0,90 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((388,13 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (388,13 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 23,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,29 / (0,90 \cdot 0,36) = 13,10 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 13,10^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 104,00 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 13,10 \cdot 0,6 / (23,35 \cdot 10^{-6}) = 336697$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,29 / (0,90 \cdot 0,48) = 9,72 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,90 \cdot 9,72^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,65 + 0,3) = 13,95 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,72 \cdot 0,65 / (23,35 \cdot 10^{-6}) = 274855$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2911 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2911 / 0,9094 \cdot 3600 = 16986 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 724,37 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 116 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,47 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

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: ВД2.10., ПД2.10. Секция 10 Молжаниново к.2

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 м²

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

$m_i = 350$ кг $Q_{нд} = 14,4$ МДж/кг $\Psi_i = 0,0135$ кг/м²/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 : 23,88 м

Площадь коридора, A_c : 35,9 м²

Площадь двери при выходе из коридора, A_d : 2,4 м²

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 2,84 м

Высота незадымляемой зоны, $H_{нз}$: 1,36 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,48 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : 3,72 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 4 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 3:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 4:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 5:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 6:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{\text{ш}} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{\text{ш}} = 3 \text{ м}$, $Z_{\text{ш}} = 0,3$, Металл

Участок 7:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение 0,304 м²

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 0,3 \text{ м}$, Металл

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 8:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 9:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 10:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 11:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 12:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 13:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 14:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 15:

Клапан 700 х 600 мм, Сечение $0,304 \text{ м}^2$

Горизонтальный участок

$F_{вв} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{вв} = 0,3 \text{ м}$, **Металл**

Вертикальный участок

$F_{ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{ш} = 3 \text{ м}$, $Z_{ш} = 0,3$, **Металл**

Участок 16:

Горизонтальный участок

$F_{ВВ} = 0,36 \text{ м}^2$, $L_{ВВ} = 5 \text{ м}$, $Z_{ВВ} = 1,2$, **Металл**
Вертикальный участок
 $F_{Ш} = 0,38 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 1 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, **Металл**

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 50 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 м³)

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

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 350 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_n = \sum (m_i \cdot Q_{ni}) = 5040 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{нср} = Q_n / \sum m_i = 5040 / 350 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{нд} \cdot F_f) = 5040 / (13,8 \cdot 20) = 18,26 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{нд} \cdot (F_w - A_0)) = 5040 / (13,8 \cdot (88,65 - 4,05)) = 4,31 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

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

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, ниже критической

=> пожар, регулируемый нагрузкой

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{\text{max}} = T_r + 224 \cdot g_k^{0.528} =$$

$$293 + 224 \cdot 4,31^{0.528} = 778 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{\text{max}} = 0,8 \cdot 778 = 622 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot$$

$$(1 - \exp(-0.58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) =$$

$$293 + 1,22 \cdot (622 - 293) \cdot (2 \cdot 1,48 + 35,9 / 23,88) / 23,88 \cdot$$

$$(1 - \exp(-0.58 \cdot 23,88 / (2 \cdot 1,48 + 35,9 / 23,88))) = 365 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 365 = 0,96 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,96 \cdot 3600 = 12623 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

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

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 16)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{\text{кл}} = G_{\text{пг}} / (F_{\text{кл}} \cdot \rho_{\text{пг}}) = 3,39 / (0,30 \cdot 0,96) = 11,53 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{\text{кл}} = 1 / 2 \cdot (Z_{\text{кл}} + Z') \cdot V_{\text{кл}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} = 1 / 2 \cdot (0,3 + 2,7) \cdot 11,53^2 \cdot 0,96 = 193,17 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_{\text{п}}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,12 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 3,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,20 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (2,12 + -1,20) / 2 = 0,46 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{HH} - \Delta P_{\text{кл}} - \Delta P_{\text{ВВ}} = 2,12 - 193,17 - 34,06 = -225,10 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -225,10)^{0,65} = 0,000282 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 10,16 \cdot 0,032 \cdot (0,46 - -225,10)^{0,65} = 0,003683 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фВВ}} + G_{\text{фкл}} = 0,003683 + 0,000282 + 0 = 0,003966 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,003966 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,003966 = 3,3980 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,003966 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003966) = 364,60 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 364,60 = 0,96 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((364,60 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (364,60 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,71 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,39 / (0,96 \cdot 0,42) = 8,35 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,96 \cdot 8,35^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,64 + 1) = 34,06 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 8,35 \cdot 0,64 / (20,71 \cdot 10^{-6}) = 260662$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,39 / (0,96 \cdot 0,38) = 9,11 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,96 \cdot 9,11^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,60 + 0,3) = 16,37 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 9,11 \cdot 0,60 / (20,71 \cdot 10^{-6}) = 266819$$

Участок 2:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,36 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_2 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 7,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,97 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,36 + -0,97) / 2 = 0,69 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -225,10 - 16,37 = -241,47 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((0,69 - -241,47) / 11000)} = 0,045106 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -241,47)^{0,65} = 0,000296 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (0,69 - -241,47)^{0,65} = 0,002893 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,002893 + 0,000296 + 0,045106 = 0,048296 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,052262 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,052262 = 3,4463 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,052262 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,052262) = 363,60 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 363,60 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((363,60 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (363,60 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,60 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,44 / (0,97 \cdot 0,38) = 9,22 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,97 \cdot 9,22^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 15,68 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 9,22 \cdot 0,60 / (20,60 \cdot 10^{-6}) = 271321$$

Участок 3:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,54 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_3 \cdot (\rho_H - \rho_H) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 10,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,79 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (2,54 + -0,79) / 2 = 0,87 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -241,47 - 15,68 = -257,16 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,30 \cdot \sqrt{((0,87 - -257,16) / 11000)} = 0,046560 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -257,16)^{0,65} = 0,000308 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (0,87 - -257,16)^{0,65} = 0,003015 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003015 + 0,000308 + 0,046560 = 0,049884 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,102147 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,102147 = 3,4962 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,102147 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,102147) = 362,59 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 362,59 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((362,59 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (362,59 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,49 / (0,97 \cdot 0,38) = 9,32 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,97 \cdot 9,32^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 16,09 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,32 \cdot 0,60 / (20,49 \cdot 10^{-6}) = 275977$$

Участок 4:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,72 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_4 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 13,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,61 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (2,72 + -0,61) / 2 = 1,05 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -257,16 - 16,09 = -273,25 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,30 \cdot \sqrt{((1,05 - -273,25) / 11000)} = 0,048006 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -273,25)^{0,65} = 0,000321 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (1,05 - -273,25)^{0,65} = 0,003137 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003137 + 0,000321 + 0,048006 = 0,051464 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,153611 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,153611 = 3,5477 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,153611 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,153611) = 361,58 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 361,58 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((361,58 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (361,58 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,54 / (0,97 \cdot 0,38) = 9,43 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,97 \cdot 9,43^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 16,51 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 9,43 \cdot 0,60 / (20,38 \cdot 10^{-6}) = 280787$$

Участок 5:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 2,90 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_{н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_5 \cdot (\rho_{н} - \rho_{п}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 16,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,43 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (2,90 + -0,43) / 2 = 1,23 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -273,25 - 16,51 = -289,76 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((1,23 - -289,76) / 11000)} = 0,049445 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -289,76)^{0,65} = 0,000333 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (1,23 - -289,76)^{0,65} = 0,003260 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003260 + 0,000333 + 0,049445 = 0,053039 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,206651 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,206651 = 3,6007 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,206651 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,206651) = 360,57 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 360,57 = 0,97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((360,57 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (360,57 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,60 / (0,97 \cdot 0,38) = 9,55 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,97 \cdot 9,55^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 16,95 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,55 \cdot 0,60 / (20,27 \cdot 10^{-6}) = 285751$$

Участок 6:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,08 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_6 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 19,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,25 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,08 + -0,25) / 2 = 1,41 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -289,76 - 16,95 = -306,72 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,30 \cdot \sqrt{((1,41 - -306,72) / 11000)} = 0,050880 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -306,72)^{0,65} = 0,000346 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (1,41 - -306,72)^{0,65} = 0,003383 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003383 + 0,000346 + 0,050880 = 0,054610 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{\text{ф}} = 0,261261 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_a = 3,3941 + 0,261261 = 3,6553 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_a + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,261261 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,261261) = 359,56 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 359,56 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((359,56 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (359,56 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,65 / (0,98 \cdot 0,38) = 9,67 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,98 \cdot 9,67^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 17,41 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / v = 9,67 \cdot 0,60 / (20,15 \cdot 10^{-6}) = 290868$$

Участок 7:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,26 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 22,72 \cdot (1,19 - 1,19) = -0,07 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,26 + -0,07) / 2 = 1,59 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -306,72 - 17,41 = -324,13 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,30 \cdot \sqrt{((1,59 - -324,13) / 11000)} = 0,052312 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -324,13)^{0,65} = 0,000359 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (1,59 - -324,13)^{0,65} = 0,003508 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003508 + 0,000359 + 0,052312 = 0,056179 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,317441 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,317441 = 3,7115 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,317441 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,317441) = 358,56 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 358,56 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((358,56 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (358,56 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 20,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,71 / (0,98 \cdot 0,38) = 9,79 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,98 \cdot 9,79^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 17,89 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,79 \cdot 0,60 / (20,04 \cdot 10^{-6}) = 296139$$

Участок 8:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{\text{нн}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,44 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{\text{нз}} = -0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_8 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 25,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,10 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (3,44 + 0,10) / 2 = 1,77 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(-1)} - \Delta P_{\text{ш}(-1)} = -324,13 - 17,89 = -342,03 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,30 \cdot \sqrt{((1,77 - -342,03) / 11000)} = 0,053744 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -342,03)^{0,65} = 0,000371 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (1,77 - -342,03)^{0,65} = 0,003633 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,003633 + 0,000371 + 0,053744 = 0,057749 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{фj}} = 0,375191 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,375191 = 3,7693 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = (293 \cdot 0,375191 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,375191) = 357,55 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 357,55 = 0,98 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((357,55 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (357,55 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,76 / (0,98 \cdot 0,38) = 9,91 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,98 \cdot 9,91^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 18,39 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 9,91 \cdot 0,60 / (19,93 \cdot 10^{-6}) = 301565$$

Участок 9:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,61 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{г} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 28,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,28 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{В} = (P_{НН} + P_{Нз}) / 2 = (3,61 + 0,28) / 2 = 1,94 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -342,03 - 18,39 = -360,43 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{Фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{В} - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((1,94 - -360,43) / 11000)} = 0,055177 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{ФВВ} = \rho_{В} / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -360,43)^{0,65} = 0,000384 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{ФШ} = (\rho_{В} / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_{В} - P_{Ш})^{0,65} =$$

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (1,94 - -360,43)^{0,65} = 0,003759 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{Ф} = G_{ФШ} + G_{ФВВ} + G_{Фкл} = 0,003759 + 0,000384 + 0,055177 = 0,059322 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{а} = \sum G_{Ф} = 0,434513 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_{а} = 3,3941 + 0,434513 = 3,8286 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{В} \cdot G_{а} + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_{а}) =$$

$$(293 \cdot 0,434513 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,434513) = 356,55 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 356,55 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((356,55 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (356,55 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{Ш} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{Ш}) = 3,82 / (0,99 \cdot 0,38) = 10,04 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{Ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{Ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{Ш} = 0,5 \cdot \rho_{ПГ} \cdot V_{Ш}^2 \cdot (\lambda_{Ш} \cdot L_{Ш} / D_{ЭШ} + Z_{Ш}) =$$

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 10,04^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 18,91 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{Ш} = V_{Ш} \cdot D_{ЭШ} / \nu = 10,04 \cdot 0,60 / (19,82 \cdot 10^{-6}) = 307146$$

Участок 10:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,79 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{Нз} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_{В}^2 - 9,81 \cdot h_{10} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 31,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,45 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,79 + 0,45) / 2 = 2,12 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -360,43 - 18,91 = -379,35 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((2,12 - -379,35) / 11000)} = 0,056612 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -379,35)^{0,65} = 0,000397 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (2,12 - -379,35)^{0,65} = 0,003887 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003887 + 0,000397 + 0,056612 = 0,060898 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,495411 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,495411 = 3,8895 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,495411 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,495411) = 355,56 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 355,56 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((355,56 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (355,56 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,71 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,88 / (0,99 \cdot 0,38) = 10,17 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,99 \cdot 10,17^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 19,46 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 10,17 \cdot 0,60 / (19,71 \cdot 10^{-6}) = 312882$$

Участок 11:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 3,97 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_{Н} \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{11} \cdot (\rho_{Н} - \rho_{П}) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 34,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,63 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (3,97 + 0,63) / 2 = 2,30 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{Ш(i-1)} - \Delta P_{Ш(i-1)} = -379,35 - 19,46 = -398,82 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{Ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((2,30 - -398,82) / 11000)} = 0,058052 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -398,82)^{0,65} = 0,000411 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (2,30 - -398,82)^{0,65} = 0,004016 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004016 + 0,000411 + 0,058052 = 0,062479 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,557891 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,557891 = 3,952 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,557891 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,557891) = 354,57 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 354,57 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((354,57 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (354,57 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 3,95 / (0,99 \cdot 0,38) = 10,31 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 0,99 \cdot 10,31^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 20,02 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 10,31 \cdot 0,60 / (19,61 \cdot 10^{-6}) = 318775$$

Участок 12:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{12} \cdot (\rho_n - \rho_n) =$$

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 37,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,81 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,15 + 0,81) / 2 = 2,48 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -398,82 - 20,02 = -418,84 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((2,48 - -418,84) / 11000)} = 0,059496 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -418,84)^{0,65} = 0,000424 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (2,48 - -418,84)^{0,65} = 0,004146 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004146 + 0,000424 + 0,059496 = 0,064067 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,621959 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,621959 = 4,0160 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,621959 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,621959) = 353,58 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 353,58 = 0,99 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((353,58 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (353,58 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,01 / (0,99 \cdot 0,38) = 10,44 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{ш} = 0,5 \cdot \rho_{пг} \cdot V_{ш}^2 \cdot (\lambda_{ш} \cdot L_{ш} / D_{эш} + Z_{ш}) = \\ 0,5 \cdot 0,99 \cdot 10,44^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 20,61 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / \nu = 10,44 \cdot 0,60 / (19,50 \cdot 10^{-6}) = 324825$$

Участок 13:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,33 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_{13} \cdot (\rho_n - \rho_p) = \\ -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 40,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 0,99 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,33 + 0,99) / 2 = 2,66 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -418,84 - 20,61 = -439,46 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_B - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((2,66 - -439,46) / 11000)} = 0,060947 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -439,46)^{0,65} = 0,000437 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (2,66 - -439,46)^{0,65} = 0,004278 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004278 + 0,000437 + 0,060947 = 0,065663 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,687622 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,687622 = 4,0817 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = \\ (293 \cdot 0,687622 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,687622) = 352,61 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 352,61 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((352,61 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (352,61 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,08 / (1,00 \cdot 0,38) = 10,59 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{ш} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{ш} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 10,59^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 21,22 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{ш} = V_{ш} \cdot D_{эш} / v = 10,59 \cdot 0,60 / (19,39 \cdot 10^{-6}) = 331034$$

Участок 14:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,51 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 43,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,17 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{в} = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (4,51 + 1,17) / 2 = 2,84 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{ш(i-1)} - \Delta P_{ш(i-1)} = -439,46 - 21,22 = -460,69 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{фкл} = F_{кл} \cdot \sqrt{((P_{в} - P_{ш}) / S_{кл})} = 0,30 \cdot \sqrt{((2,84 - -460,69) / 11000)} = 0,062404 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -460,69)^{0,65} = 0,000451 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (2,84 - -460,69)^{0,65} = 0,004412 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004412 + 0,000451 + 0,062404 = 0,067268 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,754891 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,754891 = 4,149 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,754891 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,754891) = 351,64 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 351,64 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((351,64 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (351,64 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{ш} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ш}) = 4,14 / (1,00 \cdot 0,38) = 10,73 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 10,73^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 21,86 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,73 \cdot 0,60 / (19,29 \cdot 10^{-6}) = 337402$$

Участок 15:

Давление снаружи здания с наветренной стороны

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,69 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

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

$$-0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 46,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,35 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_{\text{в}} = (P_{\text{нн}} + P_{\text{нз}}) / 2 = (4,69 + 1,35) / 2 = 3,02 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -460,69 - 21,86 = -482,55 \text{ Па}$$

Подсосы закрытого клапана

$$G_{\text{фкл}} = F_{\text{кл}} \cdot \sqrt{((P_{\text{в}} - P_{\text{ш}}) / S_{\text{кл}})} = 0,30 \cdot \sqrt{((3,02 - -482,55) / 11000)} = 0,063871 \text{ кг/с}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -482,55)^{0,65} = 0,000465 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 7,62 \cdot 0,032 \cdot (3,02 - -482,55)^{0,65} = 0,004547 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,004547 + 0,000465 + 0,063871 = 0,068884 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,823776 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,823776 = 4,2178 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,823776 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,823776) = 350,69 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 350,69 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((350,69 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (350,69 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,21 / (1,00 \cdot 0,38) = 10,88 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

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

$$0,5 \cdot 1,00 \cdot 10,88^2 \cdot (0,01 \cdot 3 / 0,60 + 0,3) = 22,52 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{в}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,88 \cdot 0,60 / (19,18 \cdot 10^{-6}) = 343931$$

Участок 16:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

$$P_{\text{нн.в}} = 0,4 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{в}}^2 - 9,81 \cdot h_{\text{выброс}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{п}}) = \\ 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,72 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{шн}} = P_{\text{ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{ш}(i-1)} = -482,55 - 22,52 = -505,07 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{\text{фвв}} = \rho_{\text{в}} / 3600 \cdot S_{\text{вв}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 12 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -505,07)^{0,65} = 0,007377 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{\text{фш}} = (\rho_{\text{в}} / 3600) \cdot S_{\text{ш}} \cdot 0,032 \cdot (P_{\text{в}} - P_{\text{ш}})^{0,65} = \\ (1,20 / 3600) \cdot 2,54 \cdot 0,032 \cdot (3,26 - -505,07)^{0,65} = 0,001561 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{фш}} + G_{\text{фвв}} + G_{\text{фкл}} = 0,001561 + 0,007377 + 0 = 0,008939 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{ф}} = 0,832715 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{ш}} = G_{\text{пг}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,832715 = 4,2268 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_{\text{в}} \cdot G_{\text{а}} + T_{\text{см}} \cdot G_{\text{пг}}) / (G_{\text{пг}} + G_{\text{а}}) = \\ (293 \cdot 0,832715 + 364,69 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,832715) = 350,56 \text{ K}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 350,56 = 1,00 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = \\ (63,763736 \cdot ((350,56 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (350,56 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 19,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{вв}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{вв}}) = 4,22 / (1,00 \cdot 0,36) = 11,66 \text{ м/с}$$

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 в горизонтальном воздуховоде от шахты до вентилятора

$$\Delta P_{\text{сети}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{вв}}^2 \cdot (\lambda_{\text{вв}} \cdot L_{\text{вв}} / D_{\text{эвв}} + Z_{\text{вв}}) = \\ 0,5 \cdot 1,00 \cdot 11,66^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,6 + 1,2) = 91,05 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 11,66 \cdot 0,6 / (19,17 \cdot 10^{-6}) = 364891$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 4,22 / (1,00 \cdot 0,38) = 10,90 \text{ м/с}$$

Абсолютная эквивалентная шероховатость материала вертикального участка

$$\epsilon_{\text{ш}} = 0,1 \text{ мм}$$

Коэффициент сопротивления трения вертикального участка

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,01$$

Потери давления трения вертикального участка

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 1,00 \cdot 10,90^2 \cdot (0,01 \cdot 1 / 0,60 + 0,3) = 19,50 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,90 \cdot 0,60 / (19,17 \cdot 10^{-6}) = 344779$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 4,2268 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_N \cdot 3600 = 4,2268 / 1,0069 \cdot 3600 = 15112 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_N \cdot v_f^2) / \rho_N = 853,26 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 78 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,41 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при t = 23 °C

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

KBM