

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.1., ПД1.1. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{hi} = 14,4$ 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 : 28,5 м

Площадь коридора, A_c : 50,2 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

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

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,57 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,25 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 50,2 / 28,5) / 28,5 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 28,5 / (2 \cdot 1,7 + 50,2 / 28,5))) = 457 \text{ К}$$

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

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 457 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,77 \cdot 3600 = 15835 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,29 \cdot 0,77) = 15,16 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,3 + 2,7) \cdot 15,16^2 \cdot 0,77 = 266,28 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{HH} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,81 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{H3} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,52 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{HH} + P_{H3}) / 2 = (1,81 + -1,52) / 2 = 0,14 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{HH} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{ВВ} = 1,81 - 266,28 - 47,14 = -311,61 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фВВ} = \rho_B / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -311,61)^{0,65} = 0,000349 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,16 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -311,61)^{0,65} = 0,004546 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фВВ} + G_{фкл} = 0,004546 + 0,000349 + 0 = 0,004895 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{фj} = 0,004895 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,004895 = 3,3990 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,004895 + 457,48 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004895) = 457,24 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 457,24 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((457,24 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (457,24 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{ВВ} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{ВВ}) = 3,39 / (0,77 \cdot 0,4) = 11,00 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 11,00^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,61 + 1) = 47,14 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 11,00 \cdot 0,61 / (31,52 \cdot 10^{-6}) = 214891$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,77 \cdot 0,39) = 11,03 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 11,03^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,62 + 0,3) = 19,06 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 11,03 \cdot 0,62 / (31,52 \cdot 10^{-6}) = 219967$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,91 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -311,61 - 19,06 = -330,68 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 10 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -330,68)^{0,65} = 0,004678 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 121,92 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -330,68)^{0,65} = 0,057043 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,057043 + 0,004678 + 0 = 0,061721 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,066616 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,066616 = 3,4607 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,066616 + 457,48 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,066616) = 454,31 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 454,31 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((454,31 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (454,31 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,46 / (0,77 \cdot 0,25) = 17,81 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 17,81^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,5 + 1,5) = 205,12 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{вв}} = V_{\text{вв}} \cdot D_{\text{эвв}} / \nu = 17,81 \cdot 0,5 / (31,16 \cdot 10^{-6}) = 285859$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{пг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,46 / (0,77 \cdot 0,39) = 11,16 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,77 \cdot 11,16^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,62 + 1,5) = 133,80 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 11,16 \cdot 0,62 / (31,16 \cdot 10^{-6}) = 225086$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4607 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4607 / 0,7769 \cdot 3600 = 16034 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 1248,6 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 182^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,44 \text{ м}^2$, 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 $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.2., ПД1.2. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 26 м

Площадь коридора, A_c : 43,2 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{Hz} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,12 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 43,2 / 26) / 26 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 26 / (2 \cdot 1,7 + 43,2 / 26))) = 468 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 468 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,75 \cdot 3600 = 16197 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,75) = 12,39 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,39^2 \cdot 0,75 = 172,67 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,12 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,84 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,12 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,49 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,84 + -1,49) / 2 = 0,17 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,84 - 172,67 - 33,44 = -204,28 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,17 - -204,28)^{0,65} = 0,000285 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,17 - -204,28)^{0,65} = 0,003591 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003591 + 0,000285 + 0 = 0,003877 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003877 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003877 = 3,3979 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003877 + 467,93 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003877) = 467,73 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 467,73 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((467,73 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (467,73 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 32,81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,75 \cdot 0,48) = 9,38 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 9,38^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 33,44 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,38 \cdot 0,68 / (32,81 \cdot 10^{-6}) = 196020$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,75 \cdot 0,43) = 10,37 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 10,37^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 16,30 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,37 \cdot 0,65 / (32,81 \cdot 10^{-6}) = 207900$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,87 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,93 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -204,28 - 16,30 = -220,58 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,27 - -220,58)^{0,65} = 0,004690 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 121,92 \cdot 0,032 \cdot (3,27 - -220,58)^{0,65} = 0,043985 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,043985 + 0,004690 + 0 = 0,048675 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,052553 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,052553 = 3,4466 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,052553 + 467,93 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,052553) = 465,26 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 465,26 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((465,26 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (465,26 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 32,50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,75 \cdot 0,42) = 10,81 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 10,81^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 72,28 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{гг}} = V_{\text{гг}} \cdot D_{\text{гг}} / \nu = 10,81 \cdot 0,64 / (32,50 \cdot 10^{-6}) = 214994$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{гг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,44 / (0,75 \cdot 0,39) = 11,38 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) =$$
$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 11,38^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,62 + 1,5) = 136,12 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 11,38 \cdot 0,62 / (32,50 \cdot 10^{-6}) = 220072$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4466 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4466 / 0,7587 \cdot 3600 = 16354 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 896,67 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 193^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,45 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.3., ПД1.3. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 27,8 м

Площадь коридора, A_c : 49 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{H3} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,42 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 49 / 27,8) / 27,8 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 27,8 / (2 \cdot 1,7 + 49 / 27,8))) = 461 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 461 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,76 \cdot 3600 = 15960 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,76) = 12,21 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,21^2 \cdot 0,76 = 170,14 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,42 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,51 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,82 + -1,51) / 2 = 0,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,82 - 170,14 - 32,95 = -201,27 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,15 - -201,27)^{0,65} = 0,000282 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,15 - -201,27)^{0,65} = 0,003557 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003557 + 0,000282 + 0 = 0,003840 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003840 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003840 = 3,3979 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003840 + 461,07 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003840) = 460,88 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 460,88 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((460,88 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (460,88 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,76 \cdot 0,48) = 9,24 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 9,24^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 32,95 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,24 \cdot 0,68 / (31,96 \cdot 10^{-6}) = 198258$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,76 \cdot 0,43) = 10,22 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 10,22^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 16,06 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,22 \cdot 0,65 / (31,96 \cdot 10^{-6}) = 210273$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,92 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -201,27 - 16,06 = -217,33 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,25 - -217,33)^{0,65} = 0,004645 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 121,92 \cdot 0,032 \cdot (3,25 - -217,33)^{0,65} = 0,043567 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,043567 + 0,004645 + 0 = 0,048212 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,052052 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,052052 = 3,4461 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,052052 + 461,07 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,052052) = 458,53 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 458,53 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((458,53 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (458,53 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,76 \cdot 0,42) = 10,65 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 10,65^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 71,20 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ВВ}} / \nu = 10,65 \cdot 0,64 / (31,67 \cdot 10^{-6}) = 217397$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,44 / (0,76 \cdot 0,39) = 11,21 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{Ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{ПГ}} \cdot V_{\text{Ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{Ш}} \cdot L_{\text{Ш}} / D_{\text{ЭШ}} + Z_{\text{Ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,76 \cdot 11,21^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,62 + 1,5) = 134,01 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 11,21 \cdot 0,62 / (31,67 \cdot 10^{-6}) = 222532$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{Ш}} = 3,4461 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_{\text{В}} = G_{\text{Ш}} / \rho_{\text{Н}} \cdot 3600 = 3,4461 / 0,7698 \cdot 3600 = 16115 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_{\text{В}} = 1,2 \cdot (P_{\text{ШН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_{\text{д}} + 0,5 \cdot \rho_{\text{Н}} \cdot v_{\text{т}}^2) / \rho_{\text{Н}} = 874,53 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 186^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,44 \text{ м}^2$, 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 $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.4., ПД1.4. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 29,9 м

Площадь коридора, A_c : 56,1 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{Hz} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,42 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °C

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,25 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 56,1 / 29,9) / 29,9 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 29,9 / (2 \cdot 1,7 + 56,1 / 29,9))) = 454 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 454 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,77 \cdot 3600 = 15709 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{ПГ} / (F_{кл} \cdot \rho_{ПГ}) = 3,39 / (0,29 \cdot 0,77) = 15,04 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{ПГ} = 1 / 2 \cdot (0,3 + 2,7) \cdot 15,04^2 \cdot 0,77 = 264,15 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{НН} = 0,4 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{НЗ} = -0,3 \cdot \rho_H \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_H - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,42 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,51 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{НН} + P_{НЗ}) / 2 = (1,82 + -1,51) / 2 = 0,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{Ш} = P_{НН} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{ВВ} = 1,82 - 264,15 - 46,76 = -309,09 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фВВ} = \rho_B / 3600 \cdot S_{ВВ} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,15 - -309,09)^{0,65} = 0,000347 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фШ} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{Ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{Ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,16 \cdot 0,032 \cdot (0,15 - -309,09)^{0,65} = 0,004522 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фШ} + G_{фВВ} + G_{фкл} = 0,004522 + 0,000347 + 0 = 0,004869 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,004869 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{Ш} = G_{ПГ} + G_a = 3,3941 + 0,004869 = 3,3989 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{ПГ}) / (G_{ПГ} + G_a) = (293 \cdot 0,004869 + 453,81 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004869) = 453,58 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{ПГ} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 453,58 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((453,58 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (453,58 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{ВВ} = G_{Ш} / (\rho_{ПГ} \cdot F_{ВВ}) = 3,39 / (0,77 \cdot 0,4) = 10,91 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,91^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,61 + 1) = 46,76 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 10,91 \cdot 0,61 / (31,07 \cdot 10^{-6}) = 216240$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,77 \cdot 0,39) = 10,94 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,94^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,62 + 0,3) = 18,90 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,94 \cdot 0,62 / (31,07 \cdot 10^{-6}) = 221348$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,92 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -309,09 - 18,90 = -328,00 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 10 \cdot 0,032 \cdot (3,25 - -328,00)^{0,65} = 0,004654 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 121,92 \cdot 0,032 \cdot (3,25 - -328,00)^{0,65} = 0,056746 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,056746 + 0,004654 + 0 = 0,061400 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,066270 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,066270 = 3,4603 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,066270 + 453,81 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,066270) = 450,73 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 450,73 = 0,78 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((450,73 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (450,73 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 30,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,46 / (0,78 \cdot 0,25) = 17,67 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,78 \cdot 17,67^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,5 + 1,5) = 203,45 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ВВ}} / \nu = 17,67 \cdot 0,5 / (30,72 \cdot 10^{-6}) = 287607$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,46 / (0,78 \cdot 0,39) = 11,07 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{ПГ}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,78 \cdot 11,07^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,62 + 1,5) = 132,66 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 11,07 \cdot 0,62 / (30,72 \cdot 10^{-6}) = 226462$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4603 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{Н}} \cdot 3600 = 3,4603 / 0,7831 \cdot 3600 = 15907 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{Н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{Н}} = 1230,84 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 178^{\circ}\text{C}$$

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 $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.5., ПД1.5. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 24,2 м

Площадь коридора, A_c : 41 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{H3} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,42 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °C

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздухопроводов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 41 / 24,2) / 24,2 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 24,2 / (2 \cdot 1,7 + 41 / 24,2))) = 480 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 480 = 0,73 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,73 \cdot 3600 = 16602 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,73) = 12,70 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,70^2 \cdot 0,73 = 176,98 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,82 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,42 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,51 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,82 + -1,51) / 2 = 0,15 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,82 - 176,98 - 34,28 = -209,44 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,15 - -209,44)^{0,65} = 0,000290 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,15 - -209,44)^{0,65} = 0,003650 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003650 + 0,000290 + 0 = 0,003940 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003940 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003940 = 3,3980 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003940 + 479,61 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003940) = 479,4 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 479,4 = 0,73 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((479,4 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (479,4 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 34,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,73 \cdot 0,48) = 9,61 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,73 \cdot 9,61^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 34,28 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,61 \cdot 0,68 / (34,26 \cdot 10^{-6}) = 192389$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,73 \cdot 0,43) = 10,63 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,73 \cdot 10,63^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 16,72 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,63 \cdot 0,65 / (34,26 \cdot 10^{-6}) = 204049$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,92 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -209,44 - 16,72 = -226,17 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,25 - -226,17)^{0,65} = 0,004765 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 126,72 \cdot 0,032 \cdot (3,25 - -226,17)^{0,65} = 0,046452 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,046452 + 0,004765 + 0 = 0,051218 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,055159 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,055159 = 3,4492 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,055159 + 479,61 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,055159) = 476,63 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 476,63 = 0,74 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((476,63 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (476,63 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 33,92 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,74 \cdot 0,42) = 11,08 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,74 \cdot 11,08^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 74,17 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{гг}} = V_{\text{гг}} \cdot D_{\text{гг}} / \nu = 11,08 \cdot 0,64 / (33,92 \cdot 10^{-6}) = 211233$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{гг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,44 / (0,74 \cdot 0,43) = 10,73 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,74 \cdot 10,73^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,65 + 1,5) = 115,89 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 10,73 \cdot 0,65 / (33,92 \cdot 10^{-6}) = 208033$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4492 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4492 / 0,7406 \cdot 3600 = 16766 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 896,44 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 204^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,46 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.6., ПД1.6. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 27,98 м

Площадь коридора, A_c : 46,7 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{H3} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,57 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 46,7 / 27,98) / 27,98 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 27,98 / (2 \cdot 1,7 + 46,7 / 27,98))) = 458 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 458 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,77 \cdot 3600 = 15837 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,77) = 12,11 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,11^2 \cdot 0,77 = 168,83 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,81 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,52 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,81 + -1,52) / 2 = 0,14 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,81 - 168,83 - 32,70 = -199,72 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -199,72)^{0,65} = 0,000281 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -199,72)^{0,65} = 0,003539 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003539 + 0,000281 + 0 = 0,003820 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003820 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003820 = 3,3979 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003820 + 457,53 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003820) = 457,34 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 457,34 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((457,34 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (457,34 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,77 \cdot 0,48) = 9,17 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 9,17^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 32,70 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,17 \cdot 0,68 / (31,53 \cdot 10^{-6}) = 199444$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,77 \cdot 0,43) = 10,14 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,14^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 15,93 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,14 \cdot 0,65 / (31,53 \cdot 10^{-6}) = 211531$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,91 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш(И-1)}} - \Delta P_{\text{Ш(И-1)}} = -199,72 - 15,93 = -215,65 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -215,65)^{0,65} = 0,004622 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 126,72 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -215,65)^{0,65} = 0,045056 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,045056 + 0,004622 + 0 = 0,049679 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,053500 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,053500 = 3,4476 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,053500 + 457,53 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,053500) = 454,98 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 454,98 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((454,98 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (454,98 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,77 \cdot 0,42) = 10,58 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,58^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 70,70 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{гг}} = V_{\text{гг}} \cdot D_{\text{гг}} / \nu = 10,58 \cdot 0,64 / (31,24 \cdot 10^{-6}) = 218809$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{гг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,44 / (0,77 \cdot 0,43) = 10,23 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{ш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,23^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,65 + 1,5) = 110,27 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}} / \nu = 10,23 \cdot 0,65 / (31,24 \cdot 10^{-6}) = 215494$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4476 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4476 / 0,7758 \cdot 3600 = 15997 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 828,14 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 182^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,44 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.7., ПД1.7. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 24,8 м

Площадь коридора, A_c : 41,3 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{H3} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,57 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °C

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_n / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_n / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической

=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{sm}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{sm}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 41,3 / 24,8) / 24,8 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 24,8 / (2 \cdot 1,7 + 41,3 / 24,8))) = 475 \text{ К}$$

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

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{sm}} = 353 / 475 = 0,74 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,74 \cdot 3600 = 16444 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,74) = 12,58 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,58^2 \cdot 0,74 = 175,30 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,81 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,52 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,81 + -1,52) / 2 = 0,14 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,81 - 175,30 - 33,95 = -207,45 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -207,45)^{0,65} = 0,000288 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -207,45)^{0,65} = 0,003627 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003627 + 0,000288 + 0 = 0,003916 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003916 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003916 = 3,3980 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003916 + 475,06 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003916) = 474,85 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 474,85 = 0,74 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((474,85 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (474,85 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 33,69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,74 \cdot 0,48) = 9,52 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,74 \cdot 9,52^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 33,95 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,52 \cdot 0,68 / (33,69 \cdot 10^{-6}) = 193779$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,74 \cdot 0,43) = 10,53 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,74 \cdot 10,53^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 16,56 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,53 \cdot 0,65 / (33,69 \cdot 10^{-6}) = 205523$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,91 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -207,45 - 16,56 = -224,01 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -224,01)^{0,65} = 0,004736 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 126,72 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -224,01)^{0,65} = 0,046167 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,046167 + 0,004736 + 0 = 0,050903 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,054819 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,054819 = 3,4489 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,054819 + 475,06 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,054819) = 472,17 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 472,17 = 0,74 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((472,17 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (472,17 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 33,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,74 \cdot 0,42) = 10,98 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,74 \cdot 10,98^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 73,45 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ВВ}} / \nu = 10,98 \cdot 0,64 / (33,36 \cdot 10^{-6}) = 212725$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,44 / (0,74 \cdot 0,43) = 10,62 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{ПГ}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{Эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,74 \cdot 10,62^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,65 + 1,5) = 114,73 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{Эш}} / \nu = 10,62 \cdot 0,65 / (33,36 \cdot 10^{-6}) = 209502$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4489 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{Н}} \cdot 3600 = 3,4489 / 0,7476 \cdot 3600 = 16608 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шН}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{Н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{Н}} = 882,14 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 200^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,46 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 $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.8., ПД1.8. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 27 м

Площадь коридора, A_c : 47,6 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{Hz} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,57 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической
=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 47,6 / 27) / 27 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 27 / (2 \cdot 1,7 + 47,6 / 27))) = 465 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 465 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,75 \cdot 3600 = 16106 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,75) = 12,32 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,32^2 \cdot 0,75 = 171,71 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,81 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,52 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,81 + -1,52) / 2 = 0,14 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,81 - 171,71 - 33,25 = -203,15 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -203,15)^{0,65} = 0,000284 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -203,15)^{0,65} = 0,003578 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003578 + 0,000284 + 0 = 0,003863 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003863 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003863 = 3,3979 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}\text{K} = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003863 + 465,31 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003863) = 465,11 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 465,11 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}\text{K} - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((465,11 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (465,11 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 32,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,75 \cdot 0,48) = 9,32 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 9,32^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 33,25 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,32 \cdot 0,68 / (32,48 \cdot 10^{-6}) = 196866$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,75 \cdot 0,43) = 10,31 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 10,31^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 16,21 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,31 \cdot 0,65 / (32,48 \cdot 10^{-6}) = 208797$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,91 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -203,15 - 16,21 = -219,36 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -219,36)^{0,65} = 0,004673 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 126,72 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -219,36)^{0,65} = 0,045551 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,045551 + 0,004673 + 0 = 0,050224 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,054087 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,054087 = 3,4482 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,054087 + 465,31 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,054087) = 462,61 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 462,61 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((462,61 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (462,61 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 32,18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,76 \cdot 0,42) = 10,75 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 10,75^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 71,92 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{гг}} = V_{\text{гг}} \cdot D_{\text{гг}} / \nu = 10,75 \cdot 0,64 / (32,18 \cdot 10^{-6}) = 216040$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{гг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,44 / (0,76 \cdot 0,43) = 10,41 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{ш}} + Z_{\text{ш}}) =$$
$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 10,41^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,65 + 1,5) = 112,25 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}} / \nu = 10,41 \cdot 0,65 / (32,18 \cdot 10^{-6}) = 212767$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4482 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4482 / 0,7630 \cdot 3600 = 16268 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 851,88 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 190^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение 0,45 м², скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.9., ПД1.9. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 28 м

Площадь коридора, A_c : 48,2 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{Hz} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,57 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °С

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,42 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,43 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_f) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической
=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъемная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 48,2 / 28) / 28 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 28 / (2 \cdot 1,7 + 48,2 / 28))) = 459 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 459 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,76 \cdot 3600 = 15884 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,36 \cdot 0,76) = 12,15 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,28 + 2,7) \cdot 12,15^2 \cdot 0,76 = 169,34 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,81 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,52 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,81 + -1,52) / 2 = 0,14 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,81 - 169,34 - 32,79 = -200,32 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,84 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -200,32)^{0,65} = 0,000282 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,56 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -200,32)^{0,65} = 0,003546 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,003546 + 0,000282 + 0 = 0,003828 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,003828 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,003828 = 3,3979 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,003828 + 458,89 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,003828) = 458,71 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 458,71 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((458,71 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (458,71 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,70 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,76 \cdot 0,48) = 9,19 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 9,19^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,68 + 1) = 32,79 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 9,19 \cdot 0,68 / (31,70 \cdot 10^{-6}) = 198984$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,76 \cdot 0,43) = 10,17 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 10,17^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,65 + 0,3) = 15,98 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 10,17 \cdot 0,65 / (31,70 \cdot 10^{-6}) = 211044$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,91 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -200,32 - 15,98 = -216,30 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 13 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -216,30)^{0,65} = 0,004631 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 126,72 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -216,30)^{0,65} = 0,045143 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,045143 + 0,004631 + 0 = 0,049774 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,053603 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,053603 = 3,4477 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,053603 + 458,89 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,053603) = 456,31 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 456,31 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((456,31 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (456,31 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,44 / (0,77 \cdot 0,42) = 10,61 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,61^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,64 + 1,5) = 70,92 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{гг}} = V_{\text{гг}} \cdot D_{\text{гг}} / \nu = 10,61 \cdot 0,64 / (31,40 \cdot 10^{-6}) = 218315$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{гг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,44 / (0,77 \cdot 0,43) = 10,26 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{ш}} + Z_{\text{ш}}) = \\ 0,5 \cdot 0,77 \cdot 10,26^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,65 + 1,5) = 110,61 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}} / \nu = 10,26 \cdot 0,65 / (31,40 \cdot 10^{-6}) = 215007$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4477 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4477 / 0,7735 \cdot 3600 = 16045 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 832,25 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 184^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,44 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование проекта: ВД1.10., ПД1.10. подвал 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 : 3 м

Размеры проемов, $B_i \times H_i$:

1,5 x 1,5 м

0,9 x 2 м

Горючие вещества:

Мебель; дерево + облицовка

$m_i = 1000$ кг $Q_{HI} = 14,4$ 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 : 28 м

Площадь коридора, A_c : 48,2 м²

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

Высота двери, H_d : 2 м

Высота потолка коридора, h_k : 3 м

Высота незадымляемой зоны, H_{Hz} : 1,3 м

Предельная толщина дымового слоя, $H_{sm} = (h_k - H_{H3})$: 1,7 м

Отметка клапана первого обслуживаемого этажа, h_1 : -1,57 м

Температура наружного воздуха, t_n : 23 °C

Скорость ветра, V_B : 2 м/с

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

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

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 4 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 0,3$, Металл

Участок 2:

Горизонтальный участок

$F_{BB} = 0,49 \text{ м}^2$, $L_{BB} = 5 \text{ м}$, $Z_{BB} = 1,5$, Металл

Вертикальный участок

$F_{Ш} = 0,39 \text{ м}^2$, $L_{Ш} = 48 \text{ м}$, $Z_{Ш} = 1,5$, Металл

Суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов, P_d : 100 Па

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

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Объем помещения

$$V = F_f \cdot h = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

Площадь ограждающих конструкций

$$F_w = 6 \cdot V^{2/3} = 6 \cdot 60^{2/3} = 91,95 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь проемов

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

Проемность помещения (объем < 1000 м³)

$$П = \sum (A_i \cdot H_i^{1/2}) / V^{2/3} = 0,3458 \text{ м}^{1/2}$$

Суммарная масса горючих веществ

$$m_0 = \sum m_i = 1000 \text{ кг}$$

Суммарная низшая теплота сгорания

$$Q_H = \sum (m_i \cdot Q_{Hi}) = 14400 \text{ МДж}$$

Средняя низшая теплота сгорания

$$Q_{Hcp} = Q_H / \sum m_i = 14400 / 1000 = 14,4 \text{ МДж/кг}$$

Необходимое удельное количество воздуха

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

Температура воздуха в помещении

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

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади пола

$$g_0 = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot F_r) = 14400 / (13,8 \cdot 20) = 52,17 \text{ кг/м}^2$$

Удельная пожарная нагрузка в помещении, приведенная к площади ограждений

$$g_k = Q_{\text{н}} / (Q_{\text{нд}} \cdot (F_w - A_0)) = 14400 / (13,8 \cdot (91,95 - 4,05)) = 11,87 \text{ кг/м}^2$$

Критическая пожарная нагрузка в помещении

$$g_{\text{ккр}} = 4500 \cdot \Pi^3 / (1 + 500 \cdot \Pi^3) + V^{1/3} / (6 \cdot V_0) = \\ 4500 \cdot 0,34^3 / (1 + 500 \cdot 0,34^3) + 60^{1/3} / (6 \cdot 3,78) = 8,75 \text{ кг/м}^2$$

Пожарная нагрузка, приведенная к площади ограждений, выше критической
=> пожар, регулируемый вентиляцией

Максимальная среднеобъёмная температура

$$T_{0\text{max}} = T_r + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot g_0 - 0,141) = \\ 293 + 940 \cdot \exp(0,0047 \cdot 52,17 - 0,141) = 1336 \text{ К}$$

Температура в потоке газов, поступающих из горящего помещения

$$T_0 = 0,8 \cdot T_{0\text{max}} = 0,8 \cdot 1336 = 1069 \text{ К}$$

Средняя температура дымового слоя в коридоре

$$T_{\text{см}} = T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c) / l_c \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{\text{см}} + A_c / l_c))) = \\ 293 + 1,22 \cdot (1069 - 293) \cdot (2 \cdot 1,7 + 48,2 / 28) / 28 \cdot \\ (1 - \exp(-0,58 \cdot 28 / (2 \cdot 1,7 + 48,2 / 28))) = 459 \text{ К}$$

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора

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

Средняя плотность продуктов горения, удаляемых из коридора

$$\rho_{\text{пг}} = 353 / T_{\text{см}} = 353 / 459 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Объёмный расход продуктов горения, удаляемых из коридора

$$L_{\text{пг}} = G_{\text{пг}} / \rho_{\text{пг}} \cdot 3600 = 3,39 / 0,76 \cdot 3600 = 15884 \text{ м}^3/\text{час}$$

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

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

Плотность приточного воздуха

$$\rho_P = 353 / T_P = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

Участки сети вытяжной противодымной вентиляции (всего 2)

Участок 1:

Скорость продуктов горения в клапане

$$V_{кл} = G_{пг} / (F_{кл} \cdot \rho_{пг}) = 3,39 / (0,29 \cdot 0,76) = 15,21 \text{ м/с}$$

Потери давления в открытом клапане

$$\Delta P_{кл} = 1 / 2 \cdot (Z_{кл} + Z') \cdot V_{кл}^2 \cdot \rho_{пг} = 1 / 2 \cdot (0,3 + 2,7) \cdot 15,21^2 \cdot 0,76 = 267,10 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с наветренной стороны

$$P_{нн} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = 1,81 \text{ Па}$$

Давление снаружи здания с заветренной стороны

$$P_{нз} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - 9,81 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_P) = -0,3 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot -1,57 \cdot (1,19 - 1,19) = -1,52 \text{ Па}$$

Давление внутри здания

$$P_B = (P_{нн} + P_{нз}) / 2 = (1,81 + -1,52) / 2 = 0,14 \text{ Па}$$

Давление в шахте

$$P_{ш} = P_{нн} - \Delta P_{кл} - \Delta P_{вв} = 1,81 - 267,10 - 47,29 = -312,58 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

$$G_{фвв} = \rho_B / 3600 \cdot S_{вв} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 0,78 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -312,58)^{0,65} = 0,000349 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

$$G_{фш} = (\rho_B / 3600) \cdot S_{ш} \cdot 0,032 \cdot (P_B - P_{ш})^{0,65} = (1,20 / 3600) \cdot 10,16 \cdot 0,032 \cdot (0,14 - -312,58)^{0,65} = 0,004555 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{ф} = G_{фш} + G_{фвв} + G_{фкл} = 0,004555 + 0,000349 + 0 = 0,004904 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_a = \sum G_{ф} = 0,004904 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{ш} = G_{пг} + G_a = 3,3941 + 0,004904 = 3,3990 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

$$T^{\circ}K = (T_B \cdot G_a + T_{sm} \cdot G_{пг}) / (G_{пг} + G_a) = (293 \cdot 0,004904 + 458,89 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,004904) = 458,65 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения

$$\rho_{пг} = 353 / T^{\circ}K = 353 / 458,65 = 0,76 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

$$\nu = (\nu_2 \cdot ((T^{\circ}K - 273) / 1000)^2 + \nu_1 \cdot (T^{\circ}K - 273) / 1000 + \nu_0) / 10^6 = (63,763736 \cdot ((458,65 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (458,65 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{вв} = G_{ш} / (\rho_{пг} \cdot F_{вв}) = 3,39 / (0,76 \cdot 0,4) = 11,04 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 11,04^2 \cdot (0,01 \cdot 0,3 / 0,61 + 1) = 47,29 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{ВВ}} = V_{\text{ВВ}} \cdot D_{\text{ЭВВ}} / \nu = 11,04 \cdot 0,61 / (31,69 \cdot 10^{-6}) = 214378$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{Ш}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{Ш}}) = 3,39 / (0,76 \cdot 0,39) = 11,06 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,76 \cdot 11,06^2 \cdot (0,01 \cdot 4 / 0,62 + 0,3) = 19,12 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{Ш}} = V_{\text{Ш}} \cdot D_{\text{ЭШ}} / \nu = 11,06 \cdot 0,62 / (31,69 \cdot 10^{-6}) = 219442$$

Участок 2:

Наружное давление на наветренном фасаде на уровне выброса

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

$$0,4 \cdot 1,19 \cdot 2^2 - 9,81 \cdot 50,42 \cdot (1,19 - 1,19) = 4,91 \text{ Па}$$

Давление в шахте ДУ на уровне верхнего дымового клапана

$$P_{\text{ШН}} = P_{\text{Ш}(i-1)} - \Delta P_{\text{Ш}(i-1)} = -312,58 - 19,12 = -331,71 \text{ Па}$$

Подсосы горизонтального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 14 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -331,71)^{0,65} = 0,006563 \text{ кг/с}$$

Подсосы вертикального участка

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

$$(1,20 / 3600) \cdot 121,92 \cdot 0,032 \cdot (3,24 - -331,71)^{0,65} = 0,057157 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы участка

$$G_{\text{Ф}} = G_{\text{ФШ}} + G_{\text{ФВВ}} + G_{\text{ФКЛ}} = 0,057157 + 0,006563 + 0 = 0,063720 \text{ кг/с}$$

Суммарные подсосы

$$G_{\text{а}} = \sum G_{\text{Ф}} = 0,068625 \text{ кг/с}$$

Расход продуктов горения с учетом подсосов

$$G_{\text{Ш}} = G_{\text{ПГ}} + G_{\text{а}} = 3,3941 + 0,068625 = 3,4627 \text{ кг/с}$$

Температура продуктов горения на участке шахты

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

$$(293 \cdot 0,068625 + 458,89 \cdot 3,39) / (3,39 + 0,068625) = 455,60 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения на уровне выброса

$$\rho_{\text{Н}} = 353 / T^{\circ}\text{K} = 353 / 455,60 = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент кинематической вязкости продуктов горения

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

$$(63,763736 \cdot ((455,60 - 273) / 1000)^2 + 99,05 \cdot (455,60 - 273) / 1000 + 11,106593) / 10^6 = 31,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Скорость продуктов горения в горизонтальном участке

$$V_{\text{ВВ}} = G_{\text{Ш}} / (\rho_{\text{ПГ}} \cdot F_{\text{ВВ}}) = 3,46 / (0,77 \cdot 0,49) = 9,12 \text{ м/с}$$

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

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

$$0,5 \cdot 0,77 \cdot 9,12^2 \cdot (0,01 \cdot 5 / 0,7 + 1,5) = 52,17 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для горизонтального участка

$$Re_{\text{гг}} = V_{\text{гг}} \cdot D_{\text{гг}} / \nu = 9,12 \cdot 0,7 / (31,32 \cdot 10^{-6}) = 203851$$

Скорость продуктов горения в вертикальном участке

$$V_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} / (\rho_{\text{гг}} \cdot F_{\text{ш}}) = 3,46 / (0,77 \cdot 0,39) = 11,20 \text{ м/с}$$

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

$$\Delta P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot V_{\text{ш}}^2 \cdot (\lambda_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / D_{\text{эш}} + Z_{\text{ш}}) = 0,5 \cdot 0,77 \cdot 11,20^2 \cdot (0,01 \cdot 48 / 0,62 + 1,5) = 134,35 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса для вертикального участка

$$Re_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot D_{\text{эш}} / \nu = 11,20 \cdot 0,62 / (31,32 \cdot 10^{-6}) = 224718$$

Массовый расход продуктов горения

$$G_{\text{ш}} = 3,4627 \text{ кг/с}$$

Объемный расход вентилятора

$$L_v = G_{\text{ш}} / \rho_{\text{н}} \cdot 3600 = 3,4627 / 0,7747 \cdot 3600 = 16089 \text{ м}^3/\text{час}$$

Давление вентилятора, приведённое к нормальным условиям

$$P_v = 1,2 \cdot (P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{сети}} + P_d + 0,5 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v_f^2) / \rho_{\text{н}} = 1017,55 \text{ Па}$$

Температура продуктов горения перед вентилятором

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 183^{\circ}\text{C}$$

Выбросное устройство

сечение $0,44 \text{ м}^2$, скорость 10 м/с

Компенсирующая подача воздуха

Массовый расход воздуха

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

Объемный расход воздуха при $t = 23^{\circ}\text{C}$

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