

ВВЕДЕНИЕ

Противодымная защита представляет собой комплекс объемно-планировочных и инженерно-технических решений, направленных на предотвращение задымления при пожаре путей эвакуации из помещений и зданий, уменьшение задымления помещений и зданий.

Основные задачи и принципы противодымной защиты сформулированы в Федеральном законе № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1].

Требования к исполнению систем противодымной защиты и отдельных ее элементов изложены в СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности» [2].

В зависимости от функционального назначения и объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, сооружений и строений в них должна быть предусмотрена приточно-вытяжная противодымная вентиляция или вытяжная противодымная вентиляция.

Необходимо устраивать дымоудаление из помещений, не имеющих естественного освещения, а также в помещениях с естественным освещением с массовым пребыванием людей, не имеющих открывающихся при пожаре проемов, с достаточной площадью для удаления продуктов горения.

Конструктивное исполнение и характеристики элементов противодымной защиты зданий, сооружений и строений в зависимости от целей противодымной защиты должны обеспечивать надежную работу систем приточно-вытяжной противодымной вентиляции в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, или в течение всей продолжительности пожара.

ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Структура курсового проекта: введение, основная часть, заключение, список использованной литературы, приложения и иллюстрации (при необходимости).

Основная часть должна быть разбита на главы, параграфы, пункты и подпункты. Основная часть должна состоять из теоретической части и расчетной части проекта.

Структура курсового проекта должна быть следующая:

Титульный лист

Задание

Содержание

Введение

1. Теоретическая часть

2. Расчетная часть

Выводы (заключение)

Список литературы

Приложение (при необходимости)

В теоретической части приводятся сведения на тему «Дымозащита зданий и сооружений» полученные из доступных литературных источников студентом самостоятельно.

В расчетной части приводится выполненный студентом расчет параметров вентиляторов дымоудаления из коридоров и помещений в многоэтажном здании и расчет параметров вентиляторов подпора в незадымляемые лестничные клетки типа Н2 по приведенной в данном методическом указании методике [3].

В заключении (выводе) студент кратко описывает, каким образом решены поставленные задачи, и какие выводы могут быть сделаны.

При написании курсового проекта должна быть использованы следующие источники: учебники, учебные пособия, статьи из периодических журналов в области техносферной безопасности, нормативные базы данных, базы данных библиотеки ТПУ.

2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ ДЫМОУДАЛЕНИЯ ИЗ КОРИДОРОВ И ПОМЕЩЕНИЙ В МНОГОЭТАЖНОМ ЗДАНИИ

Задачей расчета вентиляторов дымоудаления из коридоров и помещений является определение параметров, обеспечивающих требуемые условия на этаже пожара.

Температуру воздуха в здании при работе системы противодымной защиты T_n , К, определяют по формуле:

$$T_n = \frac{T_n + T_v}{2} \quad (1)$$

где T_n – температура наружного воздуха, К;

T_v – температура внутреннего воздуха до начала пожара, К.

Плотность приточного воздуха ρ_n , кг/м³, определяют по формуле:

$$\rho_n = \frac{353}{T_n} \quad (2)$$

где T_n – температура приточного воздуха, К; определяется по формуле (1).

Плотности наружного воздуха ρ_n и продуктов горения $\rho_{пр}$, кг/м³, вычисляют в соответствии с их температурой по формулам:

$$\rho_n = \frac{353}{T_n} = \frac{353}{t_n + 273} \quad (3)$$

$$\rho_{пр} = \frac{353}{T_{пр}} = \frac{353}{t_{пр} + 273} \quad (4)$$

где T_n , t_n – температура наружного воздуха соответственно в К и °С;

$T_{пр}$, $t_{пр}$ – температура продуктов горения соответственно в К и °С;

Плотность воздуха в здании до начала пожара ρ_v , кг/м³, определяют по формуле:

$$\rho_v = \frac{353}{T_v} \quad (5)$$

Распределения давлений снаружи здания со стороны наветренного $P_{ннi}$, заветренного $P_{нзi}$ фасадов на уровне i -го этажа и давление на уровне выброса продуктов горения $P_{выбр}$, Па, определяют соответственно по формулам:

$$P_{ннi} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - g \cdot h_i \cdot (\rho_n - \rho_n) \quad (6)$$

$$P_{нзi} = -0,3 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - g \cdot h_i \cdot (\rho_n - \rho_n) \quad (7)$$

$$P_{выбр} = 0,4 \cdot \rho_n \cdot V_B^2 - g \cdot h_{выбр} \cdot (\rho_n - \rho_n) \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м^3 ; определяется по формуле (3);

V_B – скорость ветра, м/с ;

h_i – высота пола i -го этажа над уровнем планировочной отметки земли, м ;

ρ_n – плотность приточного воздуха, кг/м^3 ; определяют по формуле (2);

$h_{\text{выбр}}$ – высота выбросного отверстия системы дымоудаления над уровнем планировочной отметки земли, м .

Давление внутри здания на уровне i -го этажа P_{vi} , Па, определяют по формуле:

$$P_{vi} = \frac{P_{nii} + P_{nzi}}{2} \quad (9)$$

где P_{nii} – наружное давление на наветренном фасаде на уровне i -го этажа, Па; определяют по формуле (6);

P_{nzi} – наружное давление на заветренном на уровне i -го этажа, Па; определяют по формуле (7).

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора, $G_{\text{пг}}$, кг/с , определяют по формуле:

$$G_{\text{пг}} = A \cdot B_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}}^{3/2} \quad (10)$$

где A – размерный коэффициент; $A = 1,2 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^{5/2})$ – для общественных зданий; $A = 0,96 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^{5/2})$ – для жилых зданий;

$B_{\text{п}}$ – ширина дверного проема из коридора в лестничную клетку, м ;

$H_{\text{п}}$ – высота дверного проема из коридора в лестничную клетку, м .

Массовый расход продуктов горения, поступающих с конвективной колонкой в подпотолочный слой, G_k , кг/с , определяют по формуле:

$$G_k = 0,032 \cdot Q_K^{3/5} \cdot Z \quad (11)$$

где Q_K – конвективная составляющая мощности очага пожара (часть тепловыделения пожара, идущая на нагрев продуктов горения), кВт; определяют по формуле:

$$Q_K = (1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q_p \cdot \psi_{\text{yd}} \cdot F_r \quad (12)$$

где φ – доля теплоты, отдаваемой очагом пожара ограждающим конструкциям; при отсутствии данных рекомендуется принимать равным 0,4;

η – коэффициент полноты сгорания; принимают равным 0,85–0,95;

Q_p – теплота сгорания, кДж/кг ;

ψ_{yd} – удельная скорость выгорания, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

F_r – площадь очага пожара, м^2 ;

Z – высота незадымленной зоны, м.

Температура продуктов горения рассчитывается по формуле:

$$T_{n2} = \frac{Q_k}{c_p \cdot G_y + \alpha [A \cdot B + 2(A + B) \cdot (H - Z)]} + T_v \quad (13)$$

где Q_k – конвективная составляющая мощности очага пожара, кВт;

c_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха и продуктов горения кДж/(кг·К); принимают равной 1,09;

G_y – массовый расход продуктов горения, кг/с;

α – коэффициент теплоотдачи от продуктов горения к ограждающим конструкциям, кВт/(м²·К); принимают равным 0,012;

A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

H – высота помещения от пола до места выброса продуктов горения, м.

Z – высота незадымленной зоны, м;

T_v – температура внутреннего воздуха, К.

Скорость продуктов горения в клапане $V_{кл}$, м/с, определяют по формуле:

$$V_{кл} = \frac{G_{n2}}{F_{кл} \cdot \rho_{n2}} \quad (14)$$

где G_{n2} – массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора, кг/с; определяют по формуле (10);

$F_{кл}$ – площадь проходного сечения дымового клапана, м²; принимают по данным фирмы-изготовителя или вычисляют по формуле:

$$F_{кл} = (a_{кл} - 0,03) \cdot (b_{кл} - 0,05) \quad (15)$$

где $a_{кл}$ – больший из установочных размеров клапана, м;

$b_{кл}$ – меньший из установочных размеров клапана, м;

ρ_{n2} – плотность продуктов горения, кг/м³; определяется по формуле (4).

Потери давления в клапане дымоудаления $\Delta P_{кл}$, Па, определяют по формуле:

$$\Delta P_{кл} = \frac{\xi_{кл} \cdot \rho_{n2} \cdot V_{кл}^2}{2} \quad (16)$$

где $\xi_{кл}$ – коэффициент местного сопротивления открытого клапана дымоудаления; принимают равным 4;

ρ_{n2} – плотность продуктов горения, кг/м³; определяется по формуле (4);

$V_{кл}$ – скорость продуктов горения, м/с; определяют по формуле (14).

Давление в шахте дымоудаления на уровне 1-го обслуживаемого этой шахтой этажа $P_{ш1}$, Па, определяют по формуле:

$$P_{ш1} = P_{нш1} - \Delta P_{кл} \quad (17)$$

где $P_{нш1}$ – наружное давление на навстренном фасаде на уровне 1-го этажа, Па; определяют по формуле (6);

$\Delta P_{кл}$ – потери давления в клапане дымоудаления, Па; определяют по формуле (16).

Скорость продуктов горения в шахте дымоудаления между i -м и $i-1$ -м этажами $V_{ш i-1, i}$ м/с, определяют по формуле:

$$V_{ш i-1, i} = \frac{G_{ш i-1}}{a_{ш} \cdot b_{ш} \cdot \rho_{ш i-1}} \quad (18)$$

где $G_{ш i-1}$ – массовый расход продуктов горения $i-1$ -го на i -й этаж, кг/с; определяют по формуле:

$$G_{ш i-1} = G_{нз} + G_{ф2} + G_{ф3} + \dots + G_{ф i-1}, \quad (19)$$

где $G_{нз}$ – массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора, кг/с; определяется по формуле (10);

$G_{ф2}$, $G_{ф3}$, ... $G_{ф i-1}$ – массовый расход воздуха, поступающего в шахту дымоудаления за счет фильтрации через неплотности и щели клапана дымоудаления и стен шахты соответственно на 2, 3 и $i-1$ -х этажах, кг/с; определяют по формуле:

$$G_{ф i} = \left(\frac{P_{в i} - P_{ш i}}{S_{ш}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

где $P_{в i}$ – давление внутри здания на уровне i -го этажа, Па; определяют по формуле (9);

$P_{ш i}$ – давление в шахте дымоудаления на уровне i -го этажа, Па; определяют по формуле (17);

$S_{ш}$ – характеристика сопротивления газопроницанию шахты с установленными в ней закрытыми клапанами, $1/(\text{кг} \cdot \text{м})$; определяют по формуле:

$$S_{ш} = \frac{S_{уд}}{F_{кл}^2} \quad (21)$$

где $S_{уд}$ – удельная характеристика сопротивления газопроницанию, м/кг; $S_{уд} = 500 \text{ м}^3/\text{кг}$ – для шахты из кирпича; $S_{уд} = 1500 \text{ м}^3/\text{кг}$ – для шахты из бетона; $S_{уд} = 1600 \text{ м}^3/\text{кг}$ – для шахты из металла;

$F_{кл}$ – площадь проходного сечения дымового клапана, м^2 ; определяют по формуле (15);

$a_{ш}$, $b_{ш}$ – размеры проходного сечения шахты дымоудаления, м;

$\rho_{ш i-1}$ – плотность продуктов горения между $i-1$ -м и i -м этажами, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Давление в шахте дымоудаления на уровне i -го этажа $P_{шi}$, Па, определяют по формуле:

$$P_{шi} = P_{шi-1} - \lambda \cdot \frac{h_{эт}}{d_{экв}} \cdot \frac{\rho_{шi-1} \cdot V_{шi-1,1-2}^2}{2} \quad (22)$$

где $P_{шi-1}$ – давление на уровне $i-1$ -го этажа, Па;

λ – коэффициент сопротивления трения; $\lambda = 0,1$ – для кирпича; $\lambda = 0,05$ – для бетона; $\lambda = 0,02$ – для металла;

$h_{эт}$ – высота этажа, м;

$d_{экв}$ – эквивалентный диаметр проходного сечения, м; определяют по формуле:

$$d_{экв} = \frac{2 \cdot f_{ш}}{a_{ш} + b_{ш}} \quad (23)$$

где $f_{ш}$ – площадь проходного сечения шахты дымоудаления, m^2 ;

$a_{ш}, b_{ш}$ – размеры проходного сечения шахты дымоудаления, м;

$\rho_{шi-1}$ – плотность продуктов горения между $i-1$ -м и i -м этажами, kg/m^3 ;

$V_{шi-1,1-2}$ – скорость продуктов горения в шахте дымоудаления между i -м и $i-1$ -м и между 1-м и 2-м этажами, м/с; определяют по формуле (18).

Массовый расход продуктов горения с $i-1$ -го на i -й этаж $G_{шi-1}$, кг/с, определяют по формуле:

$$G_{шi-1} = G_{нз} + G_{ф2} + G_{ф3} + \dots + G_{фи-1} \quad (24)$$

где $G_{шг}$ – массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора, кг/с; определяют по формуле (10);

$G_{ф2}, G_{ф3}, \dots G_{фи-1}$ – массовый расход воздуха, поступающего в шахту дымоудаления за счет фильтрации через неплотности и щели клапана дымоудаления и стен шахты соответственно на 2, 3 и $i-1$ -х этажах, кг/с; определяют по формуле (20).

Температуру продуктов горения в шахте дымоудаления на уровне i -го этажа T_i , К, определяют по формуле:

$$T_i = \frac{T_в \cdot G_{ai} + T_{шг} \cdot G_{шг}}{G_{шг} + G_{ai}} \quad (25)$$

где индекс i – номер этажа;

$T_в$ – температура внутреннего воздуха, К;

G_{ai} – суммарный массовый расход воздуха, поступающего в шахту дымоудаления за счет фильтрации через щели и неплотности в дымовых клапанах стенах шахты со 2-го по i -й этажи, кг/с; определяют по формуле:

$$G_{ai} = \sum G_{фи} \quad (26)$$

где $G_{\text{фи}}$ – массовый расход воздуха, фильтрующегося в шахту дымоудаления через щели и неплотности на уровне i -го этажа, кг/с; определяют по формуле (20);

$T_{\text{шт}}$ – температура продуктов горения, К;

$G_{\text{шт}}$ – массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора, кг/с; определяют по формуле (10).

Плотность продуктов горения в шахте дымоудаления на уровне i -го этажа $\rho_{\text{ши}}$ кг/м³, определяют по формуле:

$$\rho_{\text{ши}} = \frac{353}{T_i} \quad (27)$$

где T_i – температура продуктов горения в шахте дымоудаления на уровне i -го этажа, К; определяют по формуле (25).

Производительность вентилятора дымоудаления $L_{\text{вент}}$, м³/ч, определяют по формуле:

$$L_{\text{вент}} = \frac{3600 \cdot (G_{\text{шт}} + G_{\text{ан}})}{\rho_N} \quad (28)$$

где $G_{\text{шт}}$ – массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора, кг/с; определяют по формуле (10);

$G_{\text{ан}}$ – суммарный массовый расход воздуха, фильтрующегося в шахту дымоудаления с этажей от 2-го до верхнего, кг/с;

ρ_N – плотность продуктов горения на уровне верхнего этажа, кг/м³.

Давление, которое должен обеспечивать вентилятор дымоудаления, $P_{\text{вент}}$, Па, определяют по формуле:

$$P_{\text{вент}} = P_{\text{нн.в}} - P_{\text{шН}} + gh_{\text{выбр}} (\rho_N - \rho_n) + \Delta P_{\text{сети}} \quad (29)$$

где $P_{\text{нн.в}}$ – наружное давление на наветренном фасаде на уровне выбросного отверстия, Па;

$P_{\text{шН}}$ – давление в шахте дымоудаления на уровне расположения верхнего дымового клапана, Па;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$h_{\text{выбр}}$ – расстояние по вертикали от верхнего дымового клапана до выбросного отверстия, м;

ρ_N – плотность продуктов горения на уровне верхнего этажа, кг/м³;

ρ_n – плотность приточного воздуха, кг/м³;

$\Delta P_{\text{сети}}$ – потери давления в сети обвязки вентилятора, принимается в диапазоне 200-900 Па.

Важное дополнение: после выполнения расчета студенту необходимо используя показатели расхода ($L_{\text{лк}}$, м³/ч) и давления ($P_{\text{вент}}$, Па) самостоятельно подобрать по ним вентилятор дымоудаления, каталоги вентиляторов студент может найти в сети интернет.

Для подбора вентилятора по заводским каталогам, может быть необходимо привести показатель $P_{\text{вент}}$ к нормальным условиям (20°C) для этого можно воспользоваться формулой:

$$P_{\text{вент.н.у}} = \frac{P_{\text{вент}}}{K}$$

где коэффициент K определяется по формуле:

$$K = \frac{293}{T}$$

где T – температура продуктов горения в шахте дымоудаления на уровне верхнего этажа, К.

2.1 Пример расчета системы дымоудаления из коридора

Исходные данные

Здание общественное, 3-этажное. Место расположения – Москва. Температура наружного воздуха для зимнего периода года $t_{\text{н}} = -28^{\circ}\text{C}$. Скорость ветра $V_{\text{в}} = 4,9$ м/с. Температура продуктов горения $t_{\text{пг}} = 300^{\circ}\text{C} = 573$ К; температура внутреннего воздуха до начала пожара $t_{\text{в}} = 16^{\circ}\text{C}$. Высота этажа $h_{\text{эт}} = 4,0$ м; уровень расположения выбросного отверстия системы дымоудаления $h_{\text{выбр}} = 14$ м. Уровень расположения воздухозаборного отверстия системы подпора в лестничную клетку $h_{\text{вз}} = h_{\text{зд}}$. Размеры дверей из коридора в лестничную клетку $B_{\text{п}} \times H_{\text{п}} = 1,2 \times 2,1$ м. Площадь лестничной клетки $f_{\text{лк}} = 35$ м². Размеры шахты и установочные размеры дымового клапана $a_{\text{ш}} \times b_{\text{ш}} = a_{\text{кл}} \times b_{\text{кл}} = 0,8 \times 0,6$ м. Шахта дымоудаления – бетон. Удельная характеристика сопротивления газопроницанию закрытых дверей лестничной клетки $S_{\text{уд}} = 7000$ м³/кг. Потери давления в сети обвязки вентилятора $\Delta P_{\text{сети}} = 700$ Па.

Порядок расчета

Плотности наружного воздуха $\rho_{\text{н}}$ и продуктов горения $\rho_{\text{пг}}$ определяют соответственно по формулам (3) и (4):

$$\rho_{\text{н}} = \frac{353}{-28 + 273} = 1,44 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{шт}} = \frac{353}{300 + 273} = 0,616 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха в здании $\rho_{\text{в}}$ определяют по формуле (5):

$$\rho_{\text{в}} = \frac{353}{16 + 273} = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Наружное давление на наветренном $P_{\text{ннi}}$, заветренном $P_{\text{нзi}}$ фасадах и давление на уровне выбросного отверстия системы дымоудаления $P_{\text{выбр}}$, а также давление внутри здания $P_{\text{вi}}$, Па, определяют соответственно по формулам (6), (7), (8) и (9). Результаты расчетов заносим в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчетов давлений

№ этажа	$P_{\text{ннi}}$, Па	$P_{\text{нзi}}$, Па	$P_{\text{вi}}$, Па	$P_{\text{шi}}$, Па
1	13.82	-10.37	1,7	-333.5
2	5.19	-19.0	-6.93	-373.0
3	-3.45	-27.63	-15.56	-415.0
Выброс $P_{\text{выбр}}$, Па	-16.4	-	-	-

Массовый расход удаляемых продуктов горения $G_{\text{шт}}$ определяют по формуле (10):

$$G_{\text{шт}} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 2,1^{3/2} = 4,38 \text{ кг/с}$$

Площадь проходного сечения дымо клапана $F_{\text{кл}}$ определяют по формуле (15):

$$F_{\text{кл}} = (0,8 - 0,03)(0,6 - 0,05) = 0,424 \text{ м}^2$$

Скорость продуктов горения в клапане $V_{\text{кл}}$ определяют по формуле (14):

$$V_{\text{кл}} = \frac{4,38}{0,424 \cdot 0,616} = 16,79 \text{ м/с}$$

Потери давления в дымовом клапане $\Delta P_{\text{кл}}$ определяют по формуле (16):

$$\Delta P_{\text{кл}} = \frac{4 \cdot 0,616 \cdot 16,79^2}{2} = 347 \text{ Па}$$

Давление в шахте дымоудаления на уровне 1-го этажа $P_{\text{ш1}}$ определяют по формуле (17):

$$P_{\text{ш1}} = 13,82 - 347 = -333,5 \text{ Па.}$$

Скорость продуктов горения в шахте дымоудаления между 1-м и 2-м этажами $V_{\text{ш1-2}}$ определяют по формуле (18):

$$V_{ш1-2} = \frac{4,38}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,616} = 14,81 \text{ м/с}$$

Эквивалентный диаметр проходного сечения $d_{\text{экв}}$ шахты дымоудаления определяют по формуле (23):

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,6}{0,8 + 0,6} = 0,685 \text{ м}$$

Давление в шахте дымоудаления на уровне 2-го этажа $P_{ш2}$ определяют по формуле (22):

$$P_{ш2} = -333,5 - 0,1 \frac{4,0}{0,685} \cdot \frac{0,616 \cdot 14,81^2}{2} = -372,95 \text{ Па}$$

Характеристику сопротивления газопроницанию шахты с установленными в ней закрытыми клапанами $S_{ш}$ определяют по формуле (21):

$$S_{ш} = \frac{1500}{0,424^2} = 8344 \text{ 1/(кг} \cdot \text{м)}$$

Массовый расход воздуха, поступающего в шахту дымоудаления за счет фильтрации через неплотности и щели клапана дымоудаления и стен шахты на 2-м этаже, $G_{\phi 2}$ определяют по формуле (20):

$$G_{\phi 2} = \left(\frac{-6,93 - (-372,95)}{8344} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,209 \text{ кг/с}$$

Температуру продуктов горения между 2-м и 3-м этажами T_{2-3} определяют по формуле (25):

$$T_{2-3} = \frac{289 \cdot 0,209 + 573 \cdot 4,38}{4,38 + 0,209} = 560 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения между 2-м и 3-м этажами ρ_{2-3} определяют по формуле (27):

$$\rho_{2-3} = \frac{353}{560} = 0,630 \text{ кг/м}^3$$

Скорость продуктов горения в шахте дымоудаления между 2-м и 3-м этажами $V_{ш2-3}$ определяют по формуле (18):

$$V_{ш2-3} = \frac{4,38 + 0,209}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,630} = 15,17 \text{ м/с}$$

Давление в шахте дымоудаления на уровне 3-го этажа $P_{ш3}$ определяют по формуле (22):

$$P_{из} = -372 - 0,1 \frac{4,0}{0,685} \cdot \frac{0,630 \cdot 15,17^2}{2} = -415,28 \text{ Па}$$

Массовый расход воздуха, поступающего в шахту дымоудаления за счет фильтрации через неплотности и щели клапана дымоудаления и стен шахты на 3-м этаже, $G_{\phi 3}$ определяют по формуле (20):

$$G_{\phi 3} = \left(\frac{-15,56 - (-415,28)}{8344} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,218 \text{ кг/с}$$

Температуру продуктов горения выше 3-го этажа T_3 определяют по формуле (25):

$$T_3 = \frac{289 \cdot (0,209 + 0,218) + 537 \cdot 4,38}{4,38 + 0,209 + 0,218} = 515 \text{ К}$$

Плотность продуктов горения выше 3-го этажа ρ_3 определяют по формуле (27):

$$\rho_3 = \frac{353}{515} = 0,685 \text{ кг/м}^3$$

Производительность вентилятора $L_{\text{вент}}$ определяют по формуле (28):

$$L_{\text{вент}} = \frac{3600 \cdot (4,38 + 0,209 + 0,218)}{0,685} = 25263 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление вентилятора $P_{\text{вент}}$ определяют по формуле (29):

$$P_{\text{вент}} = -16,4 + 415,28 + 9,8 \cdot 2 \cdot (0,685 - 1,322) + 700 = 1086,39 \text{ Па}$$

3 Расчет параметров вентиляторов подпора в незадымляемые лестничные клетки типа Н2

При работе вентиляционной системы противодымной защиты многоэтажного здания в незадымляемой лестничной клетке типа Н2 и шахтах лифтов создается избыточное по отношению к смежным помещениям и к улице давление. За счет этого часть воздуха, подаваемого в верхнюю часть лестничной клетки и шахты лифта, через щели и неплотности дверей и окон уходит внутрь здания и наружу. Для обеспечения требуемых нормами параметров в лестничную клетку на 1-м этаже здания и в шахту лифта на этом этаже должно поступать определенное количество воздуха. Производительность вентиляторов подпора воздуха в лестничные клетки типа Н2 и шахты лифтов должна быть больше этого количества на величину утечек воздуха через щели и неплотности дверей и окон.

Расчет вентилятора подпора в незадымляемую лестничную клетку типа Н2 начинается с определения давления на 1-м этаже лестничной клетки. В соответствии с требованиями нормативных документов избыточное по отношению к наветренному фасаду давление на 1-м этаже лестничной клетки $P_{лк1}$, Па, должно быть не менее 20 Па, т.е.:

$$P_{лк1} = P_{нн1} + 20 \quad (30)$$

где $P_{нн1}$ – наружное давление на наветренном фасаде на уровне 1-го этажа, Па; определяют по формуле (6).

Массовый расход воздуха, который необходимо подавать из лестничной клетки в коридор этажа пожара для предотвращения выхода продуктов горения через открытый дверной проем, $G_{п}$, кг/с, определяют по формуле:

$$G_{п} = V_{п} \cdot \rho_{п} \cdot B_{п} \cdot H_{п} \quad (31)$$

где $V_{п}$ – скорость воздуха в открытом дверном проеме, достаточная для предотвращения выхода продуктов горения в лестничную клетку, м/с;

$V_{п} = 1,3$ м/с - для жилых зданий;

$V_{п} = 1,5$ м/с – для общественных зданий;

$\rho_{п}$ – плотность приточного воздуха, кг/м³; определяют по формуле (2);

$B_{п}$, $H_{п}$ – ширина и высота дверного проема из коридора в лестничную клетку, м.

Массовый расход воздуха, удаляемого из лестничной клетки наружу через открытую входную дверь здания, $G_{вх}$, кг/с, определяют по формуле:

$$G_{вх} = (\mu f_{вх}) \cdot [2 \rho_{п} (P_{лк1} - P_{вх})]^{1/2} \quad (32)$$

где $f_{\text{вх}}$ – эквивалентная гидравлическая площадь входных дверей здания, м^2 ; для последовательно работающих проемов определяется по формуле:

$$F_{\text{экв}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_2^2} + \dots + \frac{1}{f_i^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (33)$$

f_i – площадь i -го проема, м^2 ;

μ – коэффициент расхода проема дымоудаления; для проемов прямоугольного или квадратного сечения принимают равным 0,64;

$\rho_{\text{л}}$ – плотность приточного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; определяют по формуле (2);

$P_{\text{лк1}}$ – давление в лестничной клетке на уровне 1-го этажа, Па; определяют по формуле (30);

$P_{\text{вх}}$ – давление на уровне нижней границы входной двери на заветренном фасаде, Па.

$(\mu f)_{\text{вх}}$ для параллельно работающих дверных проемов определяется по формуле:

$$F_{\text{экв}} = f_1 + f_2 + \dots + f_i$$

В соответствии с СП 7.13130.2009 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования» расчеты следует проводить при открытых дверях на путях эвакуации из коридоров, холлов или непосредственно из помещений на этаже пожара в лестничную клетку и закрытых остальных дверях здания или при открытых дверях из здания наружу и закрытых дверях из коридоров и холлов на всех этажах. При расчете по первому варианту расход воздуха $G_{\text{п}}$ определяют по формуле (31), а расход воздуха $G_{\text{вх}}$ принимают равным нулю. При расчете по второму варианту расход воздуха $G_{\text{вх}}$ определяют по формуле (32), а расход воздуха $G_{\text{п}}$ принимают равным нулю.

Массовый расход воздуха, поступающего на 1-й этаж лестничной клетки со 2-го, G_{2-1} , $\text{кг}/\text{с}$, определяют по формуле:

$$G_{2-1} = G_{\text{л}} + G_{\text{вх}} \quad (35)$$

где $G_{\text{п}}$ – массовый расход воздуха из лестничной клетки в коридор этажа пожара, $\text{кг}/\text{с}$; определяют по формуле (31);

$G_{\text{вх}}$ – массовый расход воздуха из лестничной клетки наружу через открытую входную дверь здания, $\text{кг}/\text{с}$; определяют по формуле (32).

Давление в лестничной клетке на уровне 2-го этажа $P_{\text{лк2}}$, Па, определяют по формуле:

$$P_{\text{лк}2} = P_{\text{лк}1} + \frac{30G_{2-1}^2}{\rho_{\text{п}} \cdot f_{\text{лк}}^2} \quad (36)$$

где $P_{\text{лк}1}$ – давление в лестничной клетке на уровне 1-го этажа, Па; определяют по формуле (30);

G_{2-1} – массовый расход воздуха, поступающего на 1-й этаж лестничной клетки со 2-го, кг/с; определяют по формуле (34);

$\rho_{\text{п}}$ – плотность приточного воздуха, кг/м³; определяют по формуле (2);

$f_{\text{лк}}$ – площадь лестничной клетки, м².

Массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели и неплотности окон из лестничной клетки наружу на 2-м и вышележащих этажах, G_{oi} , кг/с, определяют по формуле:

$$G_{oi} = J_o \cdot f_o \cdot (P_{\text{лки}} - P_{\text{нзи}})^{1/2} \quad (37)$$

где J_o – удельная характеристика воздухопроницаемости окон, кг/(с·м·Па^{1/2}); $J_o = 7,5 \cdot 10^{-3}$ кг/(с·м·Па^{1/2}) – для одинарного спаренного остекления; $J_o = 5 \cdot 10^{-3}$ кг/(с·м·Па^{1/2}) – для двойного раздельного остекления;

f_o – площадь остекления в лестничной клетке, м²;

$P_{\text{лки}}$ – давление в лестничной клетке на уровне i -го этажа, Па;

$P_{\text{нзи}}$ – наружное давление на заветренном на уровне i -го этажа, Па; определяют по формуле (7).

Массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей внутрь здания, G_{di} кг/с, определяют по формуле:

$$G_{di} = \left(\frac{P_{\text{лки}} - P_{\text{ви}}}{S_{\text{дв}}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

где $P_{\text{лки}}$ – давление в лестничной клетке на уровне i -го этажа, Па;

$P_{\text{ви}}$ – давление внутри здания на уровне i -го этажа, Па; определяют по формуле (9);

$S_{\text{дв}}$ – характеристика сопротивления газопроницанию дверей, 1/(кг·м); определяют по формуле:

$$S_{\text{дв}} = \frac{S_{\text{уд}}}{(H_{\text{п}} \cdot B_{\text{п}})^2} \quad (39)$$

где $S_{\text{уд}}$ – удельная характеристика сопротивления газопроницанию закрытых дверей, м/кг; $S_{\text{уд}} = 7000$ м³/кг;

$B_{\text{п}}$, $H_{\text{п}}$ – ширина и высота дверного проема из коридора в лестничную клетку, м.

Массовый расход воздуха, поступающего с $i + 1$ -го этажа лестничной клетки на i -й, $G_{i+1,i}$, кг/с, определяют по формуле:

$$G_{i+1,i} = G_{i,i-1} + \sum (G_{дi} + G_{oi}) \quad (40)$$

где $G_{i,i-1}$ – массовый расход воздуха в лестничной клетке с i -го этажа на $i-1$ -й, кг/с;

$G_{дi}$ – массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей внутрь здания, кг/с; определяют по формуле (38);

G_{oi} – массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели и неплотности окон из лестничной клетки наружу на 2-м и вышележащих этажах, кг/с; определяют по формуле (37).

Давление на $i + 1$ -м этаже лестничной клетки $P_{лki+1}$, Па, больше, чем давление на i -м этаже, на величину потерь давления на преодоление межэтажного пролета лестничной клетки; определяют по формуле:

$$P_{лki+1} = P_{лki} + \frac{30G_{i+1,i}^2}{\rho_{п} \cdot f_{лk}^2} \quad (41)$$

где $P_{лki}$ – давление в лестничной клетке на уровне i -го этажа, Па;

$G_{i+1,i}$ – массовый расход воздуха, поступающего с $i + 1$ -го этажа лестничной клетки на i -й, кг/с; определяют по формуле (40);

$\rho_{п}$ – плотность приточного воздуха, кг/м³; определяют по формуле (2);

$f_{лk}$ – площадь лестничной клетки, м².

Расход воздуха, который необходимо подавать в верхнюю часть лестничной клетки для создания подпора при пожаре, $L_{лk}$, м³/ч, определяют по формуле:

$$L_{лk} = \frac{3600 \cdot G_{лk}}{\rho_{н}} \quad (42)$$

где $G_{лk}$ – массовый расход воздуха, подаваемого в лестничную клетку, кг/с;

$\rho_{н}$ – плотность наружного воздуха, кг/м³; определяется по формуле (3).

Давление, которое должен обеспечивать вентилятор подачи воздуха в лестничную клетку, $P_{вент}$, Па, определяют по формуле:

$$P_{вент} = P_{лkN} - P_{нз.в} + \Delta P_{сети} \quad (43)$$

где $P_{лkN}$ – давление на верхнем этаже лестничной клетки, Па;

$P_{нз.в}$ – наружное давление на заветренном фасаде на уровне воздухоприемного отверстия вентилятора, Па; определяют по формуле:

$$P_{нз.в} = -0,6 \cdot \frac{\rho_{н} \cdot V_{в}^2}{2} - g \cdot h_{вз} (\rho_{н} - \rho_{в}) \quad (44)$$

где ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м^3 ; определяется по формуле (3);

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

V_v – скорость ветра, м/с ;

$h_{вз}$ – уровень расположения воздухозаборного отверстия системы подпора в лестничную клетку, м ;

ρ_v – плотность воздуха в здании, кг/м^3 ;

$\Delta P_{\text{сети}}$ – потери давления в сети обвязки вентилятора от воздухозаборного отверстия до объема лестничной клетки, Па .

Важно: после выполнения расчета по первому и второму вариантам необходимо сравнить между собой показатели расхода ($L_{\text{лк}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$) и давления ($P_{\text{вент}}$, Па) рассчитанных в разных вариантах, и выбрать вариант с большими значениями. Принимая данные значения необходимо самостоятельно подобрать по ним подпорный вентилятор, каталог вентиляторов студент может найти в сети интернет.

3.1 Пример расчета вентилятора подпора воздуха при пожаре в лестничную клетку типа Н2

Исходные данные:

Здание общественное, 3-этажное, лестничная клетка не имеет естественного освещения. Место расположения – Москва. Температура наружного воздуха для зимнего периода года $t_n = -28^\circ\text{C}$. Скорость ветра $V_v = 4,9 \text{ м/с}$. Температура продуктов горения $t_{\text{пг}} = 375^\circ\text{C} = 573 \text{ К}$; температура внутреннего воздуха до начала пожара $t_v = 16^\circ\text{C}$. Высота этажа $h_{\text{эт}} = 4,0 \text{ м}$. Уровень расположения воздухозаборного отверстия системы подпора в лестничную клетку $h_{вз} = 12 \text{ м}$. Размеры одностворчатых дверей из коридора в лестничную клетку $B_{\text{п}} \times H_{\text{п}} = 1,2 \times 2,1 \text{ м}$. Выход из здания через одинарный тамбур (две последовательные одностворчатые двери), размеры дверей $B_{\text{вх}} \times H_{\text{вх}} = 1,2 \times 2,1 \text{ м}$. Площадь лестничной клетки $f_{\text{лк}} = 20 \text{ м}^2$. Удельная характеристика сопротивления газопрониканию закрытых дверей лестничной клетки $S_{\text{уд}} = 7000 \text{ м}^3/\text{кг}$. Потери давления в сети обвязки вентилятора от воздухозаборного отверстия до объема лестничной клетки $\Delta P_{\text{сети}} = 700 \text{ Па}$.

Вариант 1: открыта дверь из коридора в лестничную клетку, входная дверь здания и двери лестничной клетки на остальных этажах закрыты.

Вариант 2: открыта входная дверь здания, дверь из коридора в лестничную клетку закрыта на всех этажах.

3.1.1 Пример расчета вентилятора подпора воздуха при пожаре в лестничную клетку типа Н2 (Вариант 1)

Наружное давление на уровне воздухоприемного отверстия $P_{нз.в}$ определяют по формуле (43):

$$P_{нз.в} = -0,6 \cdot \frac{1,44 \cdot 4,9^2}{2} - 9,81 \cdot 12 \cdot (1,44 - 1,22) = -36,26 \text{ Па}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.

Таблица 2

Результаты расчетов

№ этажа	$P_{ннi}$, Па	$P_{нзи}$, Па	$P_{ви}$, Па	$P_{лki+1}$, Па
1	13,82	-10,37	1,7	33,82
2	5,19	-19,0	-6,93	42,43
3	-3,45	-27,63	-15,56	51,32
Выброс $P_{выбр}$, Па	-	-36,26	-	-

Массовый расход воздуха, удаляемого из лестничной клетки в коридор этажа пожара, $G_{п}$ определяют по формуле (31):

$$G_{п} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 2,1 = 3,78 \text{ кг/с}$$

Массовый расход воздуха через входную дверь здания $G_{вх}$ равен нулю.

Массовый расход воздуха со 2-го этажа лестничной клетки на 1-й G_{2-1} определяют по формуле (35):

$$G_{2-1} = 3,78 + 0 = 3,78 \text{ кг/с}$$

Давление на 1-м этаже лестничной клетки $P_{лк1}$, Па, определяется по формуле (30):

$$P_{лк1} = 13,82 + 20 = 33,82 \text{ Па}$$

Давление в лестничной клетке на уровне 2-го этажа $P_{лк2}$ определяют по формуле (41):

$$P_{лк2} = 33,82 + \frac{30 \cdot 3,78^2}{1,44 \cdot 20^2} = 34,56 \text{ Па}$$

Характеристику сопротивления газопроницанию дверей лестничной клетки $S_{дв}$ определяют по формуле (39):

$$S_{дв} = \frac{7000}{(2,1 \cdot 1,2)^2} = 1102 \text{ л} / (\text{кг} \cdot \text{м})$$

Массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей из лестничной клетки внутрь здания на 2-м этаже, $G_{д2}$ определяют по формуле (38):

$$G_{д2} = \left(\frac{34,56 + 6,93}{1102} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,194 \text{ кг} / \text{с}$$

Массовый расход воздуха в лестничной клетке с 3-го этажа на 2-й $G_{3,2}$ равен сумме расходов воздуха со 2-го этажа на 1-й и расхода воздуха, фильтрующегося через щели дверей на 2-м этаже:

$$G_{3,2} = 3,78 + 0,194 = 3,97 \text{ кг} / \text{с}$$

Давление в лестничной клетке на уровне 3-го этажа $P_{лк3}$ определяют по формуле (41):

$$P_{лк3} = 34,56 + \frac{30 \cdot 3,97^2}{1,44 \cdot 20^2} = 34,58 \text{ Па}$$

Массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей из лестничной клетки внутрь здания на 3-м этаже, $G_{д3}$ определяют по формуле (38):

$$G_{д3} = \left(\frac{35,38 + 15,56}{1102} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,215 \text{ кг} / \text{с}$$

Расход воздуха, подаваемого в лестничную клетку, $G_{лк}$ равен сумме расходов воздуха со 3-го этажа на 2-й и расхода воздуха, фильтрующегося через щели дверей на 3-м этаже:

$$G_{лк} = 3,97 + 0,215 = 4,18 \text{ кг} / \text{с}$$

Расход воздуха, который необходимо подавать в верхнюю часть лестничной клетки для создания подпора при пожаре, $L_{лк}$ определяют по формуле (42):

$$L_{лк} = \frac{3600 \cdot 4,18}{1,44} = 10462 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Давление, которое должен обеспечивать вентилятор подачи воздуха в лестничную клетку, $P_{вент}$ определяют по формуле (43):

$$P_{вент} = 34,58 + 36,26 + 700 = 770,84 \text{ Па}$$

3.1.2 Пример расчета вентилятора подпора воздуха при пожаре в лестничную клетку типа Н2 (Вариант 2)

Наружное давление на уровне воздухоприемного отверстия $P_{нз.6}$ определяют по формуле (44):

$$P_{нз.6} = -0,6 \cdot \frac{1,44 \cdot 4,9^2}{2} - 9,81 \cdot 12 \cdot (1,44 - 1,22) = -36,26 \text{ Па}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты расчетов

№ этажа	$P_{ниi}$, Па	$P_{нзи}$, Па	$P_{ви}$, Па	$P_{лki+1}$, Па
1	13.82	-10.37	1.7	33.82
2	5,19	-19.0	-6,93	42.43
3	-3,45	-27.63	-15.56	51.32
Выброс $P_{выбр}$, Па	-	-36.26	-	-

Эквивалентную гидравлическую площадь входных дверей здания $(\mu f)_{вх}$ определяют по формуле (33):

$$(\mu f)_{вх} = \frac{1}{\left(\frac{1}{(0,64 \cdot 1,2 \cdot 2,1)^2} + \frac{1}{(0,64 \cdot 1,2 \cdot 2,1)^2} \right)^{\frac{1}{2}}} = 1,14 \text{ м}^2$$

Массовый расход воздуха, удаляемого из лестничной клетки в коридор этажа пожара, $G_{п}$ равен нулю.

Массовый расход воздуха, удаляемого из лестничной клетки наружу через открытую входную дверь здания, $G_{вх}$ определяют по формуле (32):

$$G_{вх} = 1,14 \cdot [2 \cdot 1,44 (33,82 + 10,37)]^{1/2} = 12,86 \text{ кг/с}$$

Массовый расход воздуха со 2-го этажа лестничной клетки на 1-й G_{2-1} определяют по формуле (35):

$$G_{2-1} = 0 + 12,86 = 12,86 \text{ кг/с}$$

Давление в лестничной клетке на уровне 2-го этажа $P_{лк2}$ определяют по формуле (41):

$$P_{лк2} = 33,82 + \frac{30 \cdot 12,86^2}{1,44 \cdot 20^2} = 42,43 \text{ Па}$$

Характеристику сопротивления газопроницанию дверей лестничной клетки $S_{дв}$ определяют по формуле (39):

$$S_{дв} = \frac{7000}{(2,1 \cdot 1,2)^2} = 1102 \text{ л} / (\text{кг} \cdot \text{м})$$

Массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей из лестничной клетки внутрь здания на 2-м этаже, $G_{д2}$ определяют по формуле (38):

$$G_{д2} = \left(\frac{42,43 + 6,93}{1102} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,211 \text{ кг/с}$$

Массовый расход воздуха в лестничной клетке с 3-го этажа на 2-й $G_{3,2}$ равен сумме расходов воздуха со 2-го этажа на 1-й и расхода воздуха, фильтрующегося через щели дверей на 2-м этаже:

$$G_{3,2} = 12,86 + 0,211 = 13,07 \text{ кг/с}.$$

Давление в лестничной клетке на уровне 3-го этажа $P_{лк3}$ определяют по формуле (41):

$$P_{лк3} = 42,43 + \frac{30 \cdot 13,07^2}{1,44 \cdot 20^2} = 51,32 \text{ Па}$$

Массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей из лестничной клетки во внутрь здания на 3-м этаже, $G_{д3}$ определяют по формуле (38):

$$G_{д3} = \left(\frac{51,32 + 15,56}{1102} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,246 \text{ кг/с}$$

Массовый расход воздуха, подаваемого в лестничную клетку, $G_{лк}$ равен сумме расходов воздуха с 3-го этажа на 2-й и расхода воздуха, фильтрующегося через щели дверей на 3-м этаже:

$$G_{лк} = 13,07 + 0,246 = 13,32 \text{ кг/с}.$$

Расход воздуха, который необходимо подавать в верхнюю часть лестничной клетки для создания подпора при пожаре, $L_{лк}$ определяют по формуле (42):

$$L_{лк} = \frac{3600 \cdot 13,32}{1,44} = 33290 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Давление, которое должен обеспечивать вентилятор подачи воздуха в лестничную клетку, $P_{вент}$ определяют по формуле (43):

$$P_{вент} = 51,32 + 36,26 + 700 = 787,58 \text{ Па}.$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (с изм. и доп., вступ. в силу с 31.07.2018) // СПС КонсультантПлюс
2. Свод правил: СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности: нормативно-технический материал. – Москва: 2013. – 30 с.
3. Ю.А. Табунщиков. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] // Norm-load.ru: Бесплатная библиотека документов. 2019. – Режим доступа: <http://norm-load.ru/SNiP/Data1/59/59850/index.htm>