МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА "ЗНАК ПОЧЕТА"
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ»

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

МОСКВА 2008

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА "ЗНАК ПОЧЕТА"
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ»

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

МОСКВА 2008

УДК 614.84.697.98

Настоящие рекомендации разработаны сотрудниками ФГУ ВНИИПО МЧС России канд. техн. наук И.И. Ильминским, инж. Д.В. Беляевым, П.А. Вислогузовым, Б.Б. Колчевым.

Утверждены ФГУ ВНИИПО МЧС России 24 декабря 2007 г.

Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий: Метод. рекомендации. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. – 56 с.

Регламентированы выбор исходных данных и порядок проведения расчетов основных параметров противодымной вентиляции зданий различного назначения, преимущественно жилых и общественных. Методология расчетов ориентирована на действующие требования пожарной безопасности и базируется на результатах законченных тематических исследований ВНИИПО, которые выполнялись в период 1996–2004 гг. по техническим заданиям ГУГПС МЧС (МВД) России.

Предназначены для сотрудников УГПН главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации. Могут быть использованы в деятельности проектных организаций, специализирующихся в разработке проектных решений в области комплексной противопожарной защиты строительных объектов, а также в работе проектных бюро широкого профиля и государственных учреждений соответствующих надзорных органов.

© ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Согласно отечественной и зарубежной статистике, гибель примерно 85 % от числа жертв пожаров в зданиях обусловлена поражающим воздействием выделяемых продуктов горения. Интенсивное распространение продуктов горения при пожарах в зданиях, построенных в соответствии с современными архитектурно-технологическими решениями, сопровождается переносом токсичных компонентов, повышением температуры воздушной среды до появления вторичных загораний и изменением ее оптической плотности вплоть до полной потери видимости. В связи с этим в нашей стране и за рубежом внимание специалистов в последние десятилетия обращено на решение проблем противодымной защиты зданий. Одна из важнейших задач в данной области – создание методологии расчета основных параметров противодымной вентиляции.

В практике отечественного проектирования до настоящего времени использовались различные методические пособия [1]–[3]. Они были ориентированы преимущественно на здания высотой 16–25 этажей с типовой коридорной структурой при четырех планировочных схемах лестнично-лифтовых узлов. В методической основе выполняемых расчетов по существу отсутствовала объективно необходимая взаимосвязь с физическими процессами развития пожаров в помещениях зданий.

С введением в действие обновленных норм проектирования [4] возникла необходимость в соответствующем преобразовании методологии расчета основных параметров противодымной вентиляции зданий. Настоящие рекомендации обобщают результаты исследований, выполнявшихся специалистами ВНИИПО в рамках плановой тематики

по техническим заданиям ГУГПС МЧС (МВД) России в период 1996–2004 гг. Данная разработка не относится к формализованным методикам, устанавливающим содержание и последовательность расчетов в соответствии с особенностями объектов, поскольку современные тенденции развития архитектуры и технологии эксплуатации зданий исключают возможность подобного детерминизма. При этом представленные методические положения не иллюстрируются примерами расчета, что обусловлено как необходимостью существенного сокращения объема изложения, так и объективными условиями предотвращения недопустимого прямого заимствования таких примеров в проектных решениях. Рекомендуемая методология распространяется в основном на объекты гражданского строительства – жилые и общественные здания. С учетом многообразия строительных объектов представляется целесообразным продолжить работу по созданию расчетных методов, ориентированных на многофункциональные комплексы, подземные и супервысотные строительные объекты с массовым пребыванием людей.

Авторы будут благодарны специалистам в данной области за присланные замечания и предложения по содержанию представленной методологии и учтут их в дальнейшей работе.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие рекомендации разработаны в соответствии с действующими требованиями пожарной безопасности и регламентируют порядок расчета основных параметров противодымной вентиляции зданий, преимущественно жилых и общественных. Данные методические положения могут быть использованы также для расчета па-

раметров противодымной вентиляции зданий и сооружений различного назначения (в том числе закрытых подземных и надземных автостоянок, производственных и складских зданий, многофункциональных комплексов), для которых не разработаны соответствующие методики.

1.2. Рекомендации предназначены для сотрудников УГПН главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации, проектных организаций и предприятий, осуществляющих лицензированную деятельность по разработке и внедрению технических решений по комплексной противопожарной защите зданий и сооружений. Могут быть использованы в деятельности проектных бюро широкого профиля и государственных учреждений соответствующих надзорных органов.

1.3. Издание настоящих рекомендаций не отменяет действия и не исключает возможность использования специалистами различного профиля иных документов подобного назначения, в том числе новых разработок.

1.4. В целях исключения возможных искажений результатов практического применения разработанной методологии при ее использовании не допускаются обобщение и упрощенная интерпретация расчетных данных в виде номограмм, таблиц и иных подобных материалов.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1. Проектные объемно-планировочные решения в составе комплекта чертежей архитектурно-строительной части должны соответствовать действующим нормативным документам в области пожарной безопасности, в том числе по устройству путей эвакуации и эвакуационных выходов, пределам огнестойкости основных строительных конструкций и разделению строительной части на отдельные

пожарные отсеки. При необходимости кроме указанных нормативных документов могут использоваться положения разработанных дополнительно специальных технических условий на проектирование противопожарной защиты.

2.2. В качестве расчетных условий действия противодымной вентиляции следует принимать возможность возникновения пожара в одном из помещений, в каждом из пожарных отсеков, на одном из его этажей, преимущественно нижнем, как в надземной, так и в подземной части здания. Исходное положение оконных проемов – закрытое, дверных – согласно требованиям [4].

Расчетный период действия противодымной вентиляции должен предусматриваться либо на период эвакуации людей из помещений, с этажа или из здания в целом, либо на время проведения пожарными подразделениями работ по спасению людей, обнаружению и локализации очага пожара.

Проектное исполнение строительной части объекта должно приниматься в соответствии с установленным уровнем качества. Конструкции и оборудование противодымной вентиляции (воздуховоды, коллекторы, противопожарные клапаны, вытяжные вентиляторы, двери, в том числе противопожарные дымогазонепроницаемые, противодымные экраны и др.) должны соответствовать техническим данным предприятий-изготовителей и применяться в составе противодымной защиты объекта при наличии сертификатов соответствия системы ГОСТ Р и сертификатов пожарной безопасности.

2.3. Аэродинамические характеристики зданий определяются коэффициентами ветрового напора на различных фасадах. Распределение и значения аэродинамических

коэффициентов ветрового напора для проектируемых зданий необходимо принимать согласно проектной документации или по экспериментальным данным, полученным в результате аэродинамических испытаний (продувка моделей в аэродинамической трубе). При отсутствии необходимых данных аэродинамические характеристики должны устанавливаться расчетным путем в зависимости от направления ветрового воздействия на различные фасады зданий:

$$k_\alpha = k_n \sin^2\omega + k_\tau \cos^2\omega, \qquad (1)$$

где k_α – аэродинамический коэффициент ветрового напора при воздействии ветра под углом ω к плоскости фасада; k_n, k_τ – аэродинамические коэффициенты ветрового напора при воздействии ветра соответственно по нормали и по касательной к плоскости фасада.

Величины коэффициентов ветрового напора k_n и k_τ могут быть приняты по данным табл. 1.

Соответствующие числовые значения коэффициентов ветрового напора k_x, k_y, k_l могут быть определены по следующим зависимостям:

$$k_x = -1{,}08\exp(-2{,}7\frac{x^2}{LH}) - 0{,}05,$$

$$0 < x < l,$$

где L, H – соответственно длина и высота фасада, перпендикулярного направлению ветрового воздействия, м; l – длина боковых фасадов, м; x – удаление от плоскости данного фасада по поверхностям покрытия и фасадов, имеющих размеры l x H, м;

$$k_y = -0{,}3H / y \text{ при } 0{,}5 \le y \le 3H,$$

$k_y = -0{,}1$ при $y > 3H$,

где y – удаление от плоскости фасада, имеющего размеры l x H, вдоль поверхностей покрытия и фасадов, имеющих размеры L x H, м;

$k_l = k_x$ при $x = l$.

Для конечного вычисления аэродинамических коэффициентов по зависимости (1) должно использоваться соответствующее сочетание пар из коэффициентов k_{ww}, k_{ws}, k_{wo}, приобретающих таким образом значения коэффициентов k_n и k_τ.

Таблица 1

Аэродинамические коэффициенты ветрового напора для различных фасадов зданий

Соотношение габаритных размеров фасадов	Перпендикулярный направлению ветра фасад	Наветренная сторона k_{ww}	Боковая сторона или плоскость покрытия k_{ws}	Заветренная сторона k_{wo}
$l \le L \angle H$	L x H	0,8	-0,4	-0,6
	l x H	0,8	-0,4	-0,6
$l \le H \angle L$	L x H	0,5...0,8	k_x	k_l
	l x H	0,6...0,8	k_y	-0,3...-0,2

Для выполнения расчетов основных параметров противодымной вентиляции с меньшей точностью допускается выбор аэродинамических характеристик по фиксированным величинам коэффициентов согласно табл. 1 при $l \le L < H$.

2.4. Параметры наружного воздуха для проектируемых объектов должны соответствовать [5]. Величину скорости и направление ветра следует принимать по данным

метеорологических наблюдений, относящихся к территории застройки. Температура наружного воздуха должна соответствовать периоду максимального ветрового воздействия. Температуру внутреннего воздуха следует определять согласно проектной технологии эксплуатации проектируемого здания.

3. ВЫТЯЖНАЯ ПРОТИВОДЫМНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Вытяжная противодымная вентиляция по функциональным признакам подразделяется на две основные группы, одна из которых объединяет системы, предназначенные для удаления продуктов горения непосредственно из горящего помещения, другая – системы для удаления продуктов горения из смежных с горящим помещений.

3.1. Удаление продуктов горения непосредственно из горящего помещения

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из горящего помещения, рассчитывается на основе уравнения неразрывности вида:

$$A\frac{d}{d\tau}(\rho_{sm}h) = G_k - G_{sm}, \qquad (2)$$

где A – эквивалентная площадь сечения дымового слоя в горизонтальной плоскости, м^2; τ – время, с; ρ_{sm} – средняя плотность газа в дымовом слое, образующемся в верхней части горящего помещения, кг/м^3; h – толщина образующегося дымового слоя, м; G_k, G_{sm} – массовый расход соответственно в конвективной колонке и удаляемых продуктов горения, кг/с.

Для решения уравнения (2) необходимо дополнительно использовать зависимости для мощности тепловы-

деления очага пожара и средней температуры дымового слоя:

$$Q_k = \eta Q^p_{\text{нср}} \psi_{\text{ср}} F_o; \quad (3)$$

$$T_{sm} = T_a + \frac{r_k Q_k}{\alpha(2hl_{sm} + A)} \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{\alpha(2hl_{sm} + A)}{C_{pk} G_k} \right] \right\}, \quad (4)$$

где Q_k – мощность тепловыделения, кВт; η – полнота сгорания; $Q^p_{\text{нср}}$, $\psi_{\text{ср}}$ – параметры пожарной нагрузки помещения (прил. 1); F_o – площадь горения пожарной нагрузки, м^2; T_{sm}, T_a – средняя температура дымового слоя и температура воздуха в помещении, К; α – коэффициент теплоотдачи дымового слоя в ограждающие конструкции, Вт/м^2; r_k – коэффициент, характеризующий теплопотери на излучение; l_{sm} – максимальный периметр горизонтального сечения дымового слоя, м; C_{pk} – удельная теплоемкость газа при температуре T_{sm}, кДж/кг·К.

Для помещений прямоугольной формы с размерами пола и потолка $a \times b$ указанный периметр составляет $l_{sm} = 2(a + b)$.

Приведенные зависимости замыкаются уравнением состояния газа и функциональной связью массового расхода в конвективной колонке с мощностью тепловыделения и толщиной дымового слоя:

$$\rho_{sm} = \rho_a T_a / T_{sm}; \quad (5)$$

$$G_k = f(Q_k, h), \quad (6)$$

где ρ_a – плотность воздуха, кг/м^3.

Расчетная схема газообмена, соответствующая функциональным зависимостям (2)–(6), приведена на рис. 1. Порядок и содержание расчета с учетом специфики

защищаемых помещений определяется выбором функциональной зависимости (6).

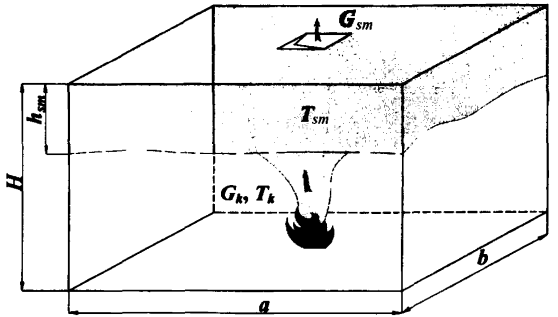


Рис. 1. Расчетная схема газообмена в горящем помещении, защищаемом вытяжной противодымной вентиляцией (T_k – температура конвективной колонки, h_{sm} – предельно допустимая толщина дымового слоя)

3.1.1. Для зальных помещений различного назначения, в том числе конференц-залов, зрительных залов, торговых залов, спортзалов и др., зависимость (6) используется в виде [6]:

$$G_k = 0{,}071 Q_k^{1/3} (H - h)^{5/3} + 0{,}0018 Q_k, \qquad (7)$$

где H – высота помещения, м.

3.1.2. Для атриумов различного архитектурного исполнения, с учетом наличия в их объемах галерей на нескольких уровнях или конструктивного отделения этажей от этих объемов, расчетные схемы газообмена соответствуют приведенным на рис. 2. При этом для варианта газообмена, приведенного на рис. 2, *а*, зависимость (6) используется в виде зависимости (7), а для варианта газообмена, приведенного на рис. 2, *б*, – в следующем виде [6]:

$$G_k = 0{,}035 Q_k. \qquad (8)$$

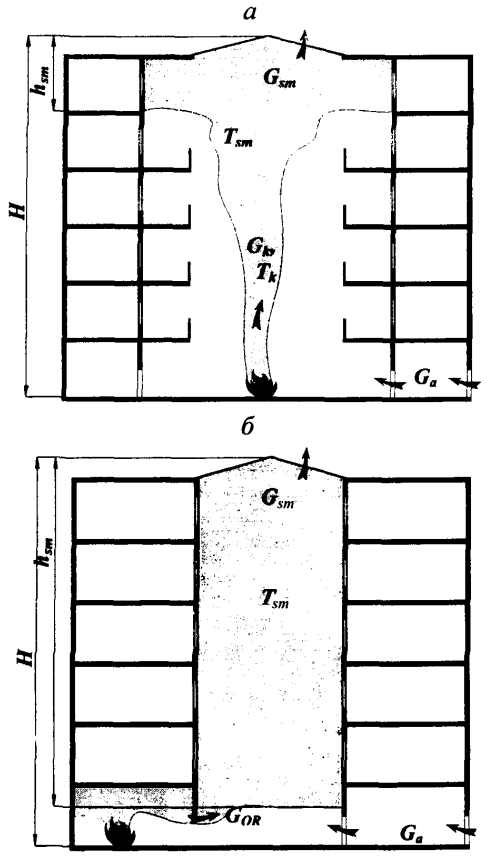


Рис. 2. Расчетная схема газообмена при пожаре в атриуме с конструктивно неотделенными галереями (а) и с конструктивно отделенными этажами (б)

Частным случаем первого из указанных вариантов является газообмен в атриуме при возникновении в нем пожара непосредственно под галереей (на уровне основания атриума). В этом случае функциональная зависимость (6) используется в следующем виде [6]:

$$G_k = 0{,}36(Q_k W^2)^{1/3}(Z_b + 0{,}25H), \qquad (9)$$

где W – начальная толщина струи газообразных продуктов горения, истекающей от ограждающей конструкции галереи атриума, м; Z_b – высота от уровня галереи, омываемой истекающей струей, до нижней границы дымового слоя, м; H – высота от основания атриума до уровня расположения галереи, м.

Согласно разд. 2 настоящих рекомендаций расчет основных параметров вытяжной противодымной вентиляции данного типа должен проводиться по условиям защиты только на период эвакуации людей из помещений либо на время, необходимое для обеспечения действий пожарных подразделений. Первые из указанных условий удовлетворяют соотношениям вида:

$$0 \le \tau \le \tau_э \quad 0 \le h \le h_{sm}; \qquad (10)$$

$$\tau > \tau_э \quad h > h_{sm}, \qquad (11)$$

где $\tau_э$ – расчетное время эвакуации из помещений; h_{sm} – предельно допустимая толщина дымового слоя, при которой сохраняется свободная от задымления воздушная зона на горизонтальных путях эвакуации.

В этом случае $G_{sm} < G_k$.

Для вторых из указанных условий справедливы соотношения вида:

$$0 \le \tau \le \tau_c \quad 0 \le h \le h_{sm}, \qquad (12)$$

где τ_c – время окончания спасательных работ.

В этом случае $G_{sm} = G_k$ и расчет параметров вытяжной противодымной вентиляции осуществляется без интегрирования уравнения (2).

3.2. Удаление продуктов горения из смежных с горящим помещений

Расчет параметров систем данной группы проводится в зависимости от вида объемного пожара в помещении, сообщающемся со смежными с ним помещениями, в том числе вестибюлями, холлами, коридорами, торговыми моллами, атриумами и т. п. Согласно [7], [8], вид объемного пожара в помещении определяется при сравнении значения приведенной удельной пожарной нагрузки помещения $g_к$ с ее критическим значением $g_{ккр}$:

если $g_к < g_{ккр}$, то в помещении будет пожар, регулируемый нагрузкой (ПРН);

если $g_к > g_{ккр}$, то в помещении будет пожар, регулируемый вентиляцией (ПРВ).

Значение максимальной среднеобъемной температуры в горящем помещении при ПРН определяется зависимостью [7], имеющей следующий вид:

$$T_{o\ max} = T_a + 224 g_к^{0,528}, \qquad (13)$$

где $T_{o\ max}$ – максимальная среднеобъемная температура, К; T_a – температура воздуха, К; $g_к$ – приведенная удельная пожарная нагрузка (согласно п. 2 прил. 1).

При ПРВ максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении соответствует зависимости вида [7]:

$$T_{o\ max} = T_a + 940 \exp(0{,}0047 g_o - 0{,}141), \qquad (14)$$

где g_o – приведенная удельная пожарная нагрузка (согласно п. 1 прил. 1).

Указанные зависимости используются для определения параметров вытяжной противодымной вентиляции данной группы.

3.2.1. Расчетная схема газообмена в коридоре на этаже, на котором возник пожар, приведена на рис. 3. Для определения температуры в потоке газов, вытекающем из горящего помещения в коридор, использовано соотношение вида [7]:

$$T_o = 0{,}8T_{o\,max}, \qquad (15)$$

где T_o – искомое значение температуры газов, поступающих из горящего помещения в коридор, К; $T_{o\,max}$ – максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении (в зависимости от вида пожара – ПРВ или ПРН), К.

Для определения усредненной температуры дымового слоя в коридоре используется следующая зависимость, полученная интегрированием уравнения, характеризующего изменение температуры в дымовом слое по длине коридора [9]:

$$T_{sm} = T_a + 1{,}22\frac{(T_o - T_a)(2h_{sm} + A_c / l_c)}{l_c} \times \times\left[1 - \exp(-\frac{0{,}8l_c}{2h_{sm} + A_c / l_c})\right], \qquad (16)$$

где h_{sm} – предельная толщина дымового слоя, м; A_c – площадь коридора, м^2; l_c – длина коридора, м.

При использовании в расчетах данной зависимости предельная толщина дымового слоя должна удовлетворять условию:

$$0{,}5 \le h_{sm} / H \le 0{,}6,$$

где H – высота коридора.

Расчет заканчивается определением массового расхода удаляемых из коридора продуктов горения при пожаре по формуле [2], [3]:

$$G_{sm} = k_{sm} A_d H_d^{0,5}, \qquad (17)$$

где G_{sm} – массовый расход удаляемых продуктов горения, кг/с; A_d – площадь двери при выходе из коридора по путям эвакуации, м^2; H_d – высота этой двери, м.

Значения коэффициента k_{sm} в данной зависимости составляют 1,0 и 1,2 соответственно для жилых и общественных зданий.

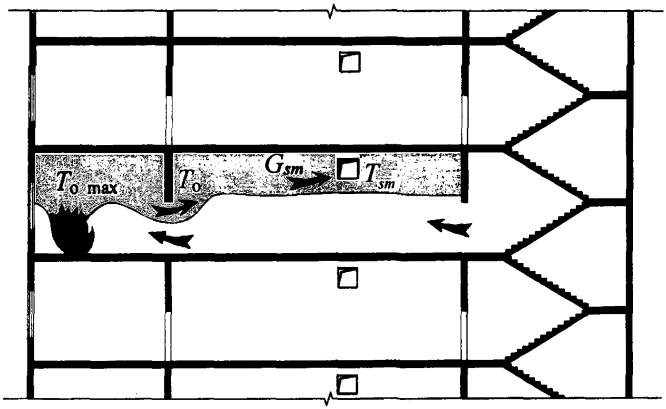


Рис. 3. Расчетная схема газообмена в коридоре на этаже, на котором произошел пожар

Зависимости (16), (17) могут быть использованы для определения параметров вытяжной противодымной вентиляции, предназначенной также для защиты других смежных с горящим помещений: холлов и одноуровневых вестибюлей.

3.2.2. Для вестибюлей, сообщающихся с двумя и более уровнями, а также для торговых моллов (закрытых галерей, сообщающихся с торговыми залами различной площади) и атриумов может быть использована регламентированная [6] зависимость вида:

$$G_k = 0{,}68(A_w H_w^{1/2})^{1/3}(Z_w + a)^{5/3} + 1{,}5 A_w H_w^{1/2}, \qquad (18)$$

где A_w – площадь проема горящего помещения, сообщающегося с защищаемыми вестибюлем, моллом, атриумами, м^2; H_w – высота этого проема, м; Z_w – расстояние от верха данного проема до нижней границы дымового слоя, м;

$$a = 2{,}4 A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2{,}1 H_w.$$

В дополнение к данной зависимости для определения усредненной температуры дымового слоя может быть использована зависимость (4).

4. ПРИТОЧНАЯ ПРОТИВОДЫМНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Системы приточной противодымной вентиляции предназначены для создания избыточного давления воздуха в защищаемых лестнично-лифтовых узлах и тамбур-шлюзах, а также для компенсирующей подачи воздуха в горящие помещения, защищенные вытяжной противодымной вентиляцией. Принцип действия таких систем каждого вида существенно различается, поэтому и определение их параметров имеет особенности.

Согласно разд. 2 настоящих рекомендаций распределение давления по противоположным фасадам определяется соотношениями вида:

$$P_{wwi} = -g h_i(\rho_a - \rho_r) + k_{awv}\rho_a V_a^2 / 2; \qquad (19)$$

$$P_{woi} = -gh_i(\rho_a - \rho_r) + k_{\alpha wo}\rho_a V_a^2/2, \quad (20)$$

где P_{wwi}, P_{woi} – перепад давления на наружных ограждающих конструкциях здания по высоте соответственно с наветренной и заветренной стороны, Па; h_i – высота i-го этажа (от уровня средней планировочной отметки земной поверхности до уровня центра дверных проемов i-го этажа), Па; ρ_a, ρ_r – плотность наружного воздуха при температуре T_a и плотность воздуха в помещениях здания при температуре T_r, К; $k_{\alpha ww}$, $k_{\alpha wo}$ – коэффициенты ветрового напора для наружных ограждающих конструкций, расположенных под углом α к направлению ветра, соответственно с наветренной и заветренной стороны; V_a – величина скорости ветра, м/с.

Для температуры воздуха внутри здания используется общепринятое соотношение

$$T_r = 0{,}5(T_a + T_{ro}),$$

где T_{ro} – начальная температура воздуха внутри здания, К.

Соответствующее распределение давления внутри здания по его высоте определяется соотношением вида:

$$P_{ri} = -gh_i(\rho_a - \rho_r) + 0{,}5(k_{\alpha ww} + k_{\alpha wo})\rho_a V_a^2/2. \quad (21)$$

Параметры приточной противодымной вентиляции для лестнично-лифтовых узлов надземной части зданий определяются в зависимости от размещения этих узлов: при примыкании к наружным ограждающим конструкциям или в центральном ядре.

4.1. Подача воздуха в лестничные клетки

4.1.1. Для лестничных клеток надземной части, примыкающих к наружным ограждающим конструкциям с устройством обособленного наружного выхода, ввиду отсутствия внутренней связи на уровне нижнего (первого)

этажа, избыточное давление воздуха на уровне вышележащего этажа должно составлять:

$$P_{st2} = P_{r2} + 20, \qquad (22)$$

где P_{r2} – давление воздуха, определяемое по зависимости (21), на уровне рассматриваемого этажа, Па.

При этом массовый расход воздуха, истекающего через наружный выход лестничной клетки, определяется зависимостью вида:

$$G_{st1} = (\mu F)_{экв1}[2\rho_r(P_{st1} - P_{wo1})]^{0,5}, \qquad (23)$$

где $(\mu F)_{экв1}$ – эквивалентная площадь проемов в тамбуре наружного выхода, м^2; P_{st1} – давление в лестничной клетке на уровне наружного выхода, Па; P_{wo1} – давление по зависимости (20) на уровне наружного выхода, Па.

Эквивалентная площадь проемов наружного выхода лестничной клетки соответствует выражению

$$(\mu F_{экв1}) = F(n\xi_d + \xi_r + 1)^{-0,5}, \qquad (24)$$

где F – площадь дверного проема, м^2; n – количество проемов (дверей) наружного выхода; ξ_d, ξ_r – коэффициент местного сопротивления соответственно проема и тамбура наружного выхода.

Числовые значения коэффициентов местного сопротивления составляют:

$\xi_d = 2,44$;

$\xi_r = 0$ (для прямого тамбура);

$\xi_r = 0,99$ (для прямоугольного тамбура);

$\xi_r = 2,9…4,0$ (для z-образного тамбура).

Массовый расход воздуха через открытый проем лестничной клетки на уровне второго этажа здания определяется по соотношению

$$G_{st2} = G_{sm} / n, \quad (25)$$

где G_{sm} – массовый расход удаляемых продуктов горения, определяемый по зависимостям (7)–(9), (17), (18) с учетом соотношений (10), (11); n – расчетное количество лестничных клеток, имеющих выходы в тот же коридор (помещение) того же этажа и защищаемых приточной противодымной вентиляцией (при одной лестничной клетке – $n = 1$, при двух и более лестничных клетках – $n = m - 1$, где m – фактическое количество лестничных клеток).

Если $G_{st2} > G_{st1}$, то на последующих этапах расчета принимается значение G_{st2}, в противном случае дальнейший расчет осуществляется по значению G_{st1}.

Последовательно определяемые для каждого вышележащего этажа давление и массовый расход воздуха соответствуют зависимостям:

$$P_{st(i+1)} = P_{sti} + \xi_{st} \rho_r V_{sti}^2 / 2; \quad (26)$$

$$G_{st(i+1)} = G_{sti} + \Delta G_{st(i+1)}, \quad (27)$$

где P_{sti}, $P_{st(i+1)}$ – давление в лестничной клетке на уровне ее i-го этажа и $(i + 1)$-го этажа, Па; ξ_{st} – коэффициент местного сопротивления лестничной клетки; V_{sti} – скорость воздуха на уровне i-го этажа лестничной клетки, м/с; G_{sti}, $G_{st(i+1)}$ – массовый расход воздуха на уровне i-го и $(i + 1)$-го этажа лестничной клетки, кг/с; $\Delta G_{st(i+1)}$ – утечки воздуха через неплотности проемов на уровне $(i + 1)$-го этажа лестничной клетки, кг/с.

Значение коэффициента сопротивления лестничной клетки может быть принято $\xi_{st} = 60$ (при отсутствии дополнительных данных в составе проектной документации).

Скорость воздуха на уровне i-го этажа лестничной клетки определяется соотношением вида:

$$V_{st1} = [G_{st1}/(\rho_r F_{st})],$$

где F_{st} – площадь сечения лестничной клетки, м^2.

Утечки воздуха через неплотности дверных проемов на уровне (i + 1)-го этажа лестничной клетки определяются зависимостью

$$\Delta G_{std(i+1)} = F_{d(i+1)}[(P_{st(i+1)} - P_{r(i+1)})/S_{da}]^{0,5}, \quad (28)$$

где S_{da} – удельное сопротивление воздухопроницанию закрытой двери, кг$^{-1}$·м^3; $F_{d(i+1)}$ – площадь дверей на (i + 1)-м этаже лестничной клетки, м^2.

При устройстве дымогазонепроницаемых дверей лестничной клетки утечки воздуха через них определяются зависимостью

$$\Delta G_{std(i+1)} = F_{d(i+1)}[(P_{st(u+1)} - P_{r(i+1)})/S_{dsm}]^{0,5}, \quad (29)$$

где S_{dsm} – удельное сопротивление дымогазопроницанию, кг$^{-1}$·м^3.

Значения характеристик удельного сопротивления воздухо- и дымогазопроницанию должны определяться в соответствии с техническими данными изделий (конструкций дверей, предусмотренных проектной документацией). Для расчетов меньшей точности могут быть приняты значения:

$$S_{da} = \frac{\sum \xi_d^1}{26\rho_r l_d^2 \delta_d^2};$$

S_{dsm} = 50 000 кг$^{-1}$·м^3.

где ξ_d^1 – коэффициент сопротивления щели притвора дверей; l_d – длина щели, м; δ_d – ширина щели, м.

Для указанных расчетов могут быть приняты значения: ξ_d^1 = 4 (для одностворчатой двери), ξ_d^1 = 8,76 (для дву-

створчатой двери), $\delta_d = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м, l_d определяется по периметру дверного полотна.

Утечки воздуха через оконный проем лестничной клетки на уровне $(i + 1)$-го этажа определяются зависимостью

$$\Delta G_{stw(i+1)} = \frac{k_z (P_{st(i+1)} - P_{w(i+1)})^{0,67}}{R_n}, \qquad (30)$$

где $P_{w(i+1)}$ – давление на фасаде, принимается либо по зависимости (19), либо по формуле (20) в соответствии с проектным расположением лестничной клетки, Па; R_n – сопротивление воздухопроницанию заполнений оконных проемов, определяемое в соответствии с [10], м^2·ч·Па/кг.

Суммарные утечки воздуха составляют:

$$\Delta G_{st(i+1)} = \Delta G_{std(i+1)} + \Delta G_{stw(i+1)}. \qquad (31)$$

Расчет по зависимостям (22)–(31) должен проводиться до достижения верхнего этажа лестничной клетки: $i = N$, где N – порядковый номер верхнего этажа лестничной клетки. При этом избыточное давление воздуха в лестничной клетке не должно превышать максимально допустимое значение, равное 150 Па.

Если в ходе расчета величина $P_{sti} > 150$ Па, то не выше уровня данного этажа лестничная клетка подлежит разделению рассечками на зоны. Для вышележащей зоны лестничной клетки должен быть проведен расчет в аналогичной последовательности без учета выброса воздуха через наружный выход нижнего этажа. Взамен конструктивного разделения лестничной клетки рассечками может быть предусмотрена распределенная подача воздуха в эту лестничную клетку на различных уровнях (этажах). Возможные для реализации варианты приведены на рис. 4.

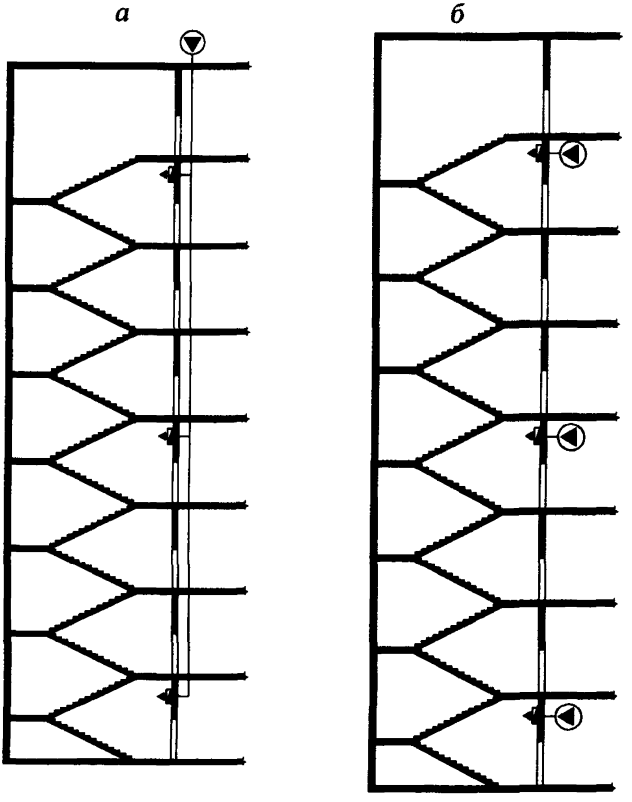


Рис. 4. Схема распределенной подачи воздуха в лестничную клетку:
а – через канал-спутник и регулируемые решетки (клапаны);
б – отдельными системами приточной противодымной вентиляции

4.1.2. Для лестничных клеток по п. 4.1.1 при дополнительном их сообщении с холлами, вестибюлями нижнего

этажа, например, через тамбур-шлюзы, защищаемые автономными системами приточной противодымной вентиляции, рекомендованные выше последовательность и содержание расчетов остаются неизменными.

В случае устройства поэтажных выходов в подобные лестничные клетки через тамбур-шлюзы с аналогичной защитой последних приточной противодымной вентиляцией из изложенной выше последовательности расчета исключаются зависимости (28), (29).

Если взамен тамбур-шлюза при дополнительном выходе в такую же лестничную клетку из вестибюля, холла нижнего этажа предусмотрена одинарная дверь, то в последовательность и содержание расчета должны быть внесены следующие изменения:

зависимость (22) преобразуется посредством замены P_{sf2} на P_{st1} и P_{r2} на P_{r1};

зависимость (23) дополняется слагаемым, учитывающим дополнительный выброс воздуха из лестничной клетки в холл, вестибюль.

4.1.3. Для лестничных клеток надземной части, расположенных в центральном ядре, изначально необходимо определить количество воздуха, выбрасываемого в холл, вестибюль нижнего этажа. В случае устройства тамбур-шлюзов, автономно защищаемых приточной противодымной вентиляцией и отделяющих указанные холл, вестибюль от таких лестничных клеток, расход воздуха в этих лестничных клетках на уровне нижнего этажа принимается равным нулю. В таком случае значение расхода воздуха на уровне второго этажа лестничной клетки рассчитывается по зависимости (25), и его величина, определенная та-

ким образом, используется на последующих этапах расчета согласно зависимостям (26)–(31).

Если эти лестничные клетки сообщаются с холлом, вестибюлем нижнего этажа через одинарные дверные проемы, то расход воздуха определяется зависимостями (22)–(25). При этом значение $F_{экв1}$ определяется по зависимости (26) как для дверей тамбуров наружных выходов холла, вестибюля, так и для дополнительной двери лестничной клетки. С учетом отмеченных особенностей дальнейший расчет проводится согласно зависимостям (26)–(31).

4.1.4. Лестничные клетки подземной части выполняются, как правило, с непосредственным выходом наружу на уровне нижнего этажа надземной части здания.

Давление на уровне верхнего подземного этажа в данной лестничной клетке определяется зависимостью

$$P_{st-1} = 20 + qh_{-1}(\rho_a - \rho_{ro}), \qquad (32)$$

где h_{-1} – глубина от уровня нулевой отметки (поверхности земли) до уровня центра дверного проема на данном этаже, м; ρ_a, ρ_{ro} – плотность воздуха при температуре соответственно T_a, T_{ro}, К.

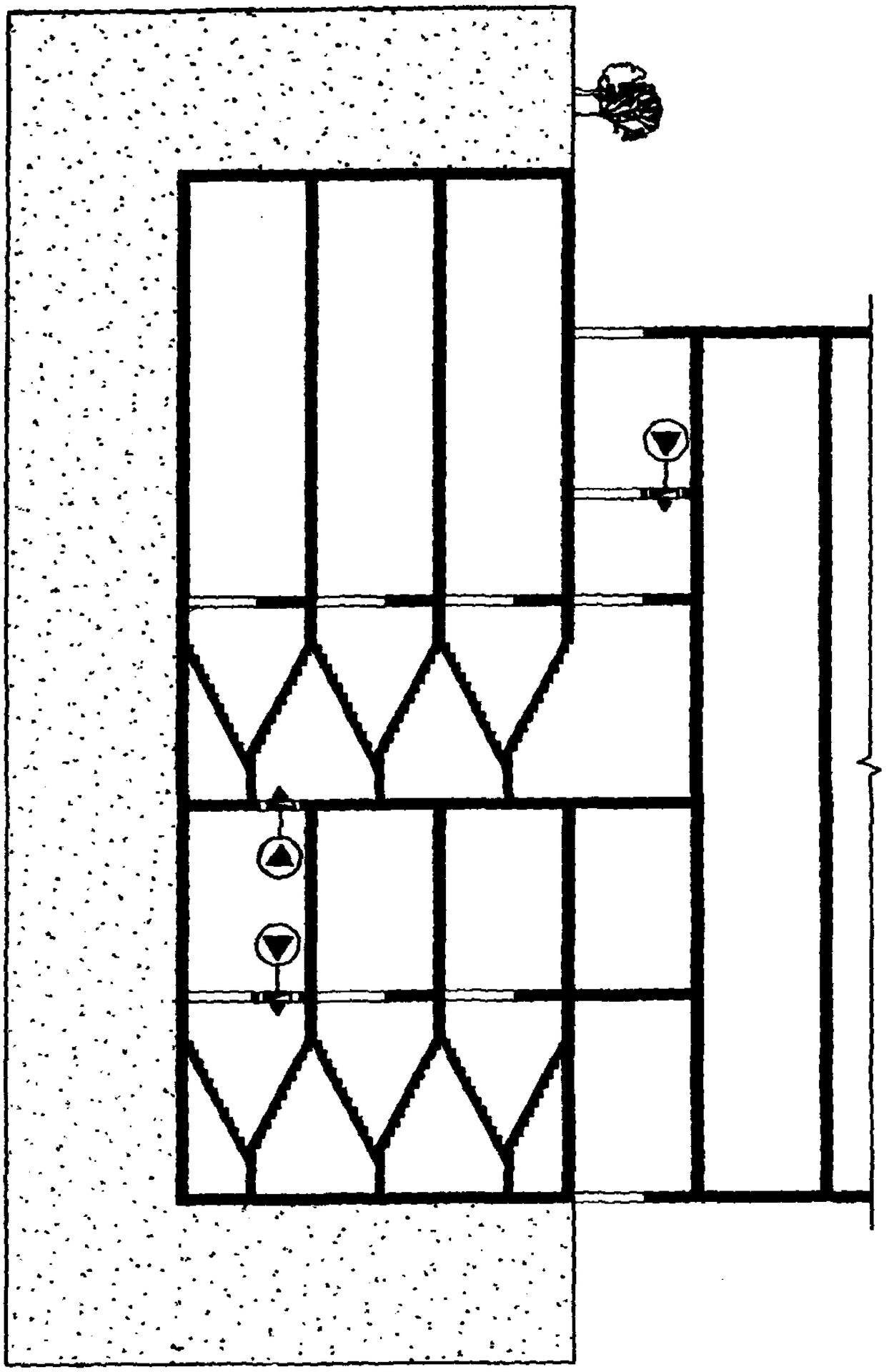
Расход воздуха через наружный выход лестничной клетки определяется с использованием зависимостей (23), (24). Давление и расход воздуха на нижележащих этажах определяются последовательно согласно зависимостям (26)–(31) при исключении величин утечек воздуха по зависимости (30). При этом распределение давления по глубине подземной части (помещениям этой части) рассчитывается по зависимости

$$P_{ri} = qh_i(\rho_a - \rho_{ro}), \quad (33)$$

где P_{ri} – давление на i-м этаже подземной части, Па; h_i – глубина от нулевого уровня (поверхности земли) до центра дверного проема лестничной клетки i-го этажа, м.

Массовый расход воздуха через открытый дверной проем лестничной клетки определяется на уровне нижнего этажа подземной части с использованием соотношения (25). Величина G_{sm} при этом рассчитывается по зависимостям (7), (17). Схема подачи воздуха в указанную лестничную клетку приведена на рис. 5, *а*.

При устройстве выхода из этой лестничной клетки в холл, вестибюль нижнего этажа надземной части здания требуется применять защищенный автономной противодымной вентиляцией тамбур-шлюз. В этом случае величина массового расхода воздуха по зависимости (23) приравнивается к нулю, а все остальные параметры определяются по зависимостям (7), (17), (26)–(29), (31).


a

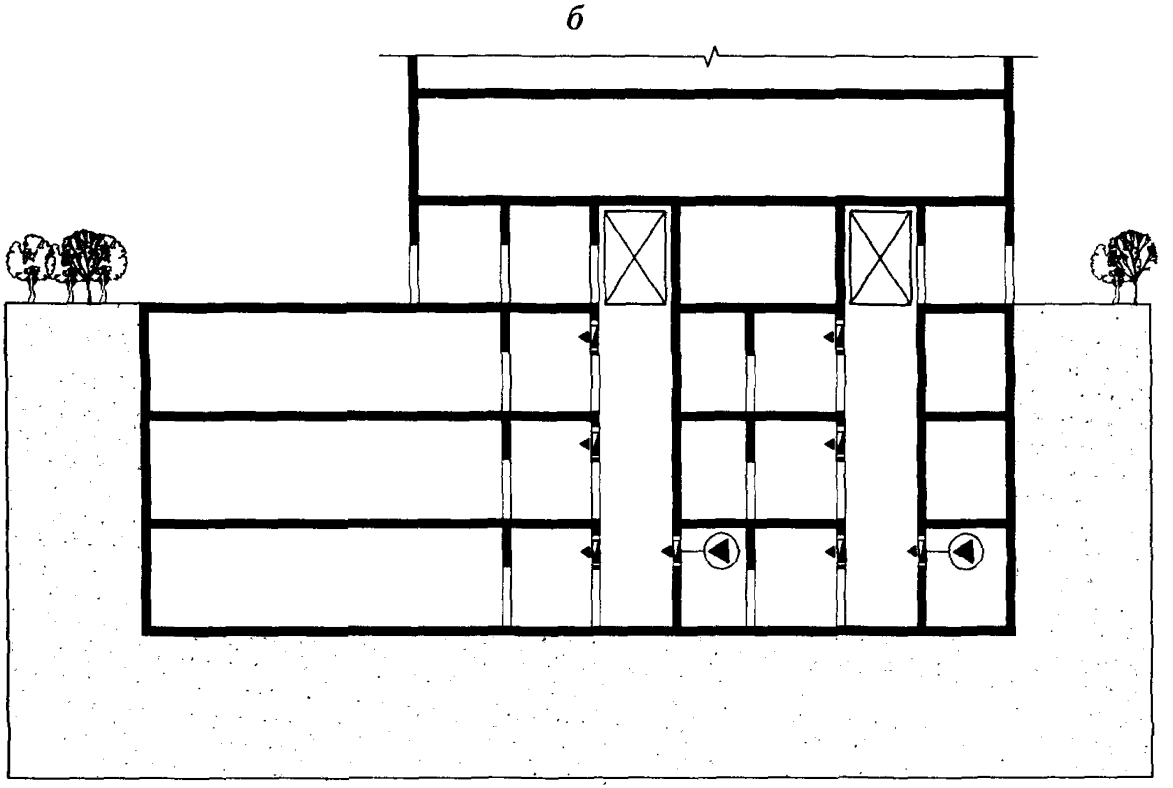


Рис. 5. Схемы подачи воздуха в лестничные клетки (а) и в лифтовые шахты (б) подземной части здания

4.2. Подача воздуха в лифтовые шахты

4.2.1. Для лифтовых шахт надземной части (с остановками лифтов на уровнях только надземных этажей) с выгороженными лифтовыми холлами на каждом этаже, кроме нижнего (основного посадочного этажа), величина избыточного давления воздуха на уровне вышележащего этажа должна составлять:

$$P_{l2} = P_{r2} + 20. \tag{34}$$

Расход воздуха из лифтовой шахты на уровне нижнего (первого) этажа определяется зависимостью вида:

$$G_{l1} = (\mu F)_{экв1}\left[2\rho_r (P_{l2} - P_{r1})\right]^{0,5}, \tag{35}$$

где $(\mu F)_{экв1}$ – эквивалентная площадь дверных проемов лифтовой шахты, м^2.

Величина эквивалентной площади проемов лифтовой шахты определяется зависимостью

$$(\mu F)_{экв1} = \frac{nF_{ld}}{\xi_l^{1\ 2}}, \tag{36}$$

где n – количество кабин лифтов в шахте; F_{ld} – площадь дверей лифтовой шахты при выходе из кабины, м^2; ξ_l – коэффициент местного сопротивления.

Числовые значения ξ_l должны приниматься согласно технической документации на лифтовые установки здания. Для приближенных вычислений может быть использовано соотношение вида:

$$\xi_l = 4{,}3 + \frac{F_{lc}}{F_{ls}}, \tag{37}$$

где F_{lc}, F_{ls} – площадь поперечного сечения соответственно кабины лифта и лифтовой шахты, м^2.

Расходы воздуха, фильтрующегося последовательно через двери лифтовых шахт и лифтовых холлов на каждом i-м этаже, включая этаж конечной остановки, определяются зависимостями:

$$\Delta G_{li} = F_d[(P_{li} - P_{ri})/S_{da}]^{0.5}, \quad (38)$$

$$\Delta G_{li} = F_d[(P_{li} - P_{ri})/S_{dsm}]^{0.5}, \quad (39)$$

где P_{li} – давление в лифтовой шахте на уровне i-го этажа, Па; F_d – суммарная площадь дверей лифтовой шахты или лифтового холла на промежуточном посадочном этаже, м; S_{da}, S_{dsm} – характеристики удельного сопротивления дверей лифтового холла соответственно воздухопроницанию и дымогазопроницанию, $кг^{-1} \cdot м^3$.

С учетом $P_{l2} = P_i = \text{const}$ суммарный расход воздуха, фильтрующегося из лифтовой шахты, составляет:

$$G_l = G_{l1} + \sum \Delta G_{li}, \quad (40)$$

где G_l – требуемый по расчету суммарный расход воздуха, подаваемого в лифтовую шахту, кг/с.

4.2.2. Исполнение лифтовых шахт по п. 4.2.1 с дополнительным устройством выгороженного лифтового холла на основном посадочном этаже обусловливает возможность использования зависимостей (34), (38)–(40). При этом расход воздуха из лифтовой шахты на уровне первого этажа здания должен определяться по зависимостям (38) или (39).

4.2.3. Для лифтовых шахт подземной части (с остановками на уровнях подземных этажей) с выгороженными лифтовыми холлами на каждом этаже, включая основной посадочный этаж (нижний надземный), последовательность и содержание расчета требуемых значений избыточного давления и суммарного расхода воздуха следует принимать ана-

логичными указанным в п. 4.2.2. При этом расчетное распределение давления по глубине подземной части должно соответствовать зависимости (33). Схемы подачи воздуха в лифтовые шахты данного вида приведены на рис. 5, *б*.

4.2.4. При устройстве лифтовых шахт, сообщающихся с подземной и надземной частью, необходимо предусматривать раздельную подачу воздуха согласно схеме, приведенной на рис. 6. Расчетные значения параметров при этом следует определять по зависимостям, указанным в пп. 4.2.1 и 4.2.3.

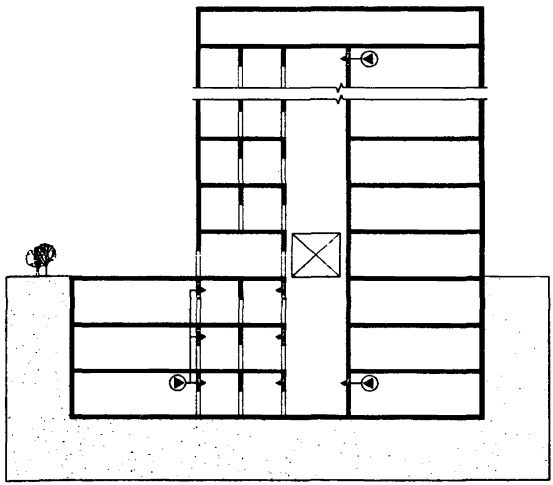


Рис. 6. Схема распределенной подачи воздуха в шахту лифтов, имеющих остановки в подземной и надземной частях здания

4.2.5. Для шахт лифтов с режимом «перевозка пожарных подразделений» необходимо определять расход воздуха на основном посадочном этаже по зависимости (35) без учета выгороженного лифтового холла на этом этаже.

4.3. Подача воздуха в тамбур-шлюзы

4.3.1. Расход воздуха, подаваемого в тамбур-шлюзы при выходах из лестничных клеток и лифтовых шахт в холлы, вестибюли нижнего надземного этажа здания, определяется соотношением вида:

$$G_n = V_n F_{dn} \rho_r, \qquad (41)$$

где V_n – минимально допустимая скорость истечения воздуха через одну открытую дверь тамбур-шлюза, м/с; F_{dn} – площадь двери тамбур-шлюза, м^2; ρ_r – плотность воздуха при температуре T_r.

4.3.2. Расход воздуха, подаваемого в тамбур-шлюзы при поэтажных выходах в лестничные клетки, определяется зависимостями вида:

$$G_{stn} = G_n + \Delta G_n, \qquad (42)$$

$$\Delta G_n = (n-1) F_{dm} (P_c / S_{dm})^{0,5}, \qquad (43)$$

где G_{stn} – массовый расход воздуха, поступающего в вертикальный коллектор, кг/с; ΔG_n – утечки воздуха через закрытые клапаны коллектора, кг/с; n – количество клапанов в коллекторе; F_{dm} – площадь проходного сечения клапана, м^2; P_c – среднее избыточное давление в коллекторе, Па; S_{dm} – удельное сопротивление дымогазопроницанию клапана, кг$^{-1}$·м^3.

4.3.3. Расход воздуха, подаваемого в лифтовые холлы на подземных уровнях, тамбур-шлюзы при выходах из

помещений подземной части в лестничные клетки, сообщающиеся с вестибюлем надземной части здания, определяется зависимостью

$$G_c = F_{dsm}(P_c / S_{dsm})^{0,5}, \qquad (44)$$

где F_{dsm} – площадь дверей тамбур-шлюза, м; P_c – избыточное давление воздуха в защищаемом тамбур-шлюзе, Па; S_{dsm} – удельное сопротивление дымогазопроницанию дверей тамбур-шлюза, $кг^{-1} \cdot м^3$.

Величина избыточного давления в тамбур-шлюзе должна удовлетворять условию: $P_c \geq 20$ Па.

4.4. Компенсирующая подача воздуха

Возмещение объемов удаляемых из помещений продуктов горения при пожаре обеспечивается посредством подачи наружного воздуха в нижнюю часть таких помещений. Расход подаваемого воздуха определяется соотношением

$$G_a = \frac{G_{sm}}{1-n}, \qquad (45)$$

где G_{sm} – массовый расход удаляемых продуктов горения, кг/с; n – коэффициент дисбаланса.

Диапазон допускаемого дисбаланса: $-0,3 \leq n \leq 0,3$.

Для определения требуемого объемного расхода подаваемого воздуха применяются зависимости

$$L_a = G_{sm} / \rho_a \text{ или } L_{sm} = \frac{T_a}{T_{sm}}, \qquad (46)$$

где L_a, L_{sm} – объемный расход соответственно подаваемого воздуха и удаляемых продуктов горения, $м^3/с$ или $м^3/ч$; T_a, T_{sm} – абсолютные температуры воздуха и удаляемых продуктов горения, К.

Способы подачи воздуха могут быть различными, но в основном подразделяются на использование принудительной и естественной вентиляции. Естественная вентиляция может быть предусмотрена с применением дверей наружных выходов помещения или специально выполненных воздухоприточных каналов. Требуемые размеры проходных сечений таких дверей и каналов определяются с учетом их фактического гидравлического сопротивления, соотносимого с установленным статическим давлением вытяжной противодымной вентиляции.

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Для систем вытяжной и приточной противодымной вентиляции в качестве основных параметров, подлежащих учету, рассматриваются величины давления и подачи вентиляторов.

5.1. Оборудование систем вытяжной противодымной вентиляции

5.1.1. С учетом полученных расчетных значений G_{sm}, T_{sm} для помещений, защищаемых вытяжной противодымной вентиляцией, согласно принятым исходным данным, определяется необходимое количество дымоприемных устройств и их размещение. В соответствии со структурной схемой систем намечается трассировка этажных вытяжных каналов, вертикальных коллекторов. Предусматриваются места установки вентиляторов с фиксированным наружным выбросом продуктов горения.

Предварительный выбор размеров проходных сечений сборных элементов вытяжных каналов и оборудования (решеток, клапанов) проводится, исходя из условия обеспечения максимальной скорости течения газов не более 11 м/с (пред-

почтительно, в диапазоне 9–11 м/с). Если указанное условие является невыполнимым ввиду ограниченной возможности прокладки конструкций вытяжных каналов с соответствующими размерами на всем протяжении или локально, выбирается иной типоразмер сечений, который обеспечивал бы возможно меньшее увеличение скорости течения газов.

5.1.2. Определяется требуемая величина давления на начальном участке вытяжного канала (в защищаемом помещении) по зависимости вида:

$$P_{smo} = P_o + 0{,}5\rho_{smo}\left(\sum \xi_{oi} V_{smoi}^2 + \lambda_o \sum V_{smoi}^2 l_{oi} / d_{эoi}\right), \qquad (47)$$

где P_{smo} – статическое давление в вытяжном канале в конце начального участка, Па; P_o – добавочное статическое давление в вытяжном канале, Па; ξ_{oi} – коэффициент i-го местного сопротивления на начальном участке вытяжного канала; λ_o – коэффициент сопротивления трения для вытяжного канала на начальном участке; l_{oi} – длина i-го элемента вытяжного канала на начальном участке, м; $d_{эoi}$ – эквивалентный гидравлический диаметр i-го элемента вытяжного канала на начальном участке, м; ρ_{smo} – плотность газа при расчетной температуре дымового слоя, кг/м^3; V_{smoi} – локальная скорость газа, перемещаемого в i-м элементе вытяжного канала на начальном участке, м/с.

Величина добавочного статического давления в вытяжном канале определяется по суммарным потерям давления в приточных устройствах компенсирующей подачи воздуха с естественным побуждением тяги:

$$P_o = R_a \cdot G_a^2,$$

где R_a – эквивалентное сопротивление воздухоприточного канала, кг$^{-1}$·м$^{-1}$; G_a – массовый расход приточного воздуха по зависимости (45), кг/с.

Локальная скорость перемещаемого в канале газа определяется соотношением

$$V_{smoi} = \frac{G_{smo}}{\rho_{smo} F_{oi}}. \qquad (48)$$

Для определения эквивалентного гидравлического диаметра прямоугольного сечения канала используется соотношение

$$d_э = \frac{2ab}{a+b}, \qquad (49)$$

где a, b – размеры сторон сечения, м.

Коэффициенты местного сопротивления определяются по справочным данным [11], а коэффициенты сопротивления трения – по известной зависимости А.Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0{,}11(68/\mathrm{Re} + k/d_э)^{1/4}, \qquad (50)$$

где Re – критерий Рейнольдса; k – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности канала (для воздуховодов из стали k = 0,1 мм).

При этом Re определяется по теплофизическим параметрам, приведенным в прил. 2:

$$\mathrm{Re} = \frac{Vd_э}{\nu}. \qquad (51)$$

5.1.3. Если между вертикальным коллектором и начальным участком канала рассматриваемой системы существует промежуточный транзитный участок, то величина давления в нем может быть определена по зависимости (47) при соответствующей замене P_{smo} на P_{smo} и P_o на P_{smo}. Поправка на изменение величины массового расхода в конце такого промежуточного транзитного участка определяется следующими зависимостями:

$$G'_{smo} = G_{smo} + \Delta G_a; \quad (52)$$

$$\Delta G_a = \rho_a L_a \sum(\pi d'_{эoi} \cdot l_{oi}) / 3600, \quad (53)$$

где G'_{smo} – массовый расход газа в конечном сечении промежуточного участка канала, кг/с; ΔG_a – подсосы воздуха через конструкции промежуточного участка канала, кг/с; ρ_a – плотность воздуха, кг/м^3; L_a – подсосы воздуха, м^3/ч; $d'_{эpi}$, l'_{oi} – эквивалентный гидравлический диаметр и длина i-го элемента промежуточного участка канала, м.

Значение L_a определяется по аппроксимирующей зависимости согласно п. 1 прил. 3. При этом в аппроксимирующей формуле для воздуховодов класса «П» принимается:

$$P = P'_{smo} \cdot 10^{-3}.$$

Изменение температуры газа в конечном сечении промежуточного участка канала определяется зависимостью

$$T'_{smo} = \frac{Cp_{smo} G_{smo} T_{smo} + \Delta G_a T_a - q_l l}{C'_{psmo} G'_{smo}}, \quad (54)$$

где q_l – потери тепла на единицу длины канала, кВт/м; l – суммарная длина промежуточного участка вытяжного канала, м.

Удельные потери тепла определяются зависимостями вида:

$$q_l = k_l \pi (T_{smo} - T_a); \quad (55)$$

$$k_l = \left(\frac{1}{\alpha_1 d_{э1}} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\frac{d_{э2}}{d_{э1}} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln\frac{d_{э3}}{d_{э2}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{э2}}\right)^{-1}, \quad (56)$$

где k_l – коэффициент теплопередачи, кВт/м·К; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи от газа к внутренней поверхности

и от внешней поверхности канала к окружающему воздуху, кВт/м^2·К; λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности материалов собственно канала и огнезащитного покрытия, кВт/м·К; $d_{э1}$, $d_{э2}$, $d_{э3}$ – эквивалентный гидравлический диаметр, соответствующий внутренней поверхности, внешней поверхности канала (внутренней поверхности огнезащитного слоя) и внешней поверхности этого слоя, м.

Коэффициенты теплопроводности λ_1 и λ_2 находятся по справочным данным. Значение α_1 определяется из критериальной зависимости вида:

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}021\mathrm{Re}_f^{0.8}\mathrm{Pr}_f^{0.43}(\mathrm{Pr}_f/\mathrm{Pr}_w)^{0.25}\varepsilon_l\varepsilon_R, \qquad (57)$$

где Nu, Pr – критерии Нуссельта и Прандтля соответственно; ε_l, ε_R – поправочные коэффициенты;

$$\alpha_1 = \mathrm{Nu}_f\lambda_{смо}/d_{э1}.$$

Количественные значения коэффициента ε_l устанавливаются по табличным справочным данным [11], а коэффициента ε_R – определяются по соотношению

$$\varepsilon_R = (1+1{,}77d/R), \qquad (58)$$

где R – радиус изгиба канала, м.

Ввиду того что температура на внешней поверхности огнезащитного слоя вытяжного канала является неизвестной величиной, расчет q_l проводится последовательными приближениями, на первом шаге которых задается значение $T_a < T_3 < T_{смо}$.

5.1.4. Параметры перемещаемого газа при входе его в вертикальный коллектор соответствуют значениям $G'_{смо}$, $T'_{смо}$, $P'_{смо}$.

При условии сохранения неизменными площади проходных сечений и соосности таких сечений коллектора по всей его высоте производится условное разделение

на участки с границами на уровне межэтажных перекрытий здания.

Для первого такого участка вначале определяется давление в конечном сечении:

$$P_{sm1} = P'_{smo} + \xi_1 \rho'_{smo} V^2_{sm1} / 2,$$

где ξ_1 – коэффициент местного сопротивления; ρ'_{smo} – плотность при температуре T'_{smo}, К.

Значения ξ_1 определяются по справочным данным [12] с учетом геометрических характеристик элементов присоединения этажного канала к вертикальному коллектору при наличии противопожарного клапана. Коэффициент местного сопротивления для этого клапана определяется по техническим данным изготовителя.

5.1.5. При переходе на следующий участок вертикального коллектора принимается, что при давлении P_{sm1} остальные параметры имеют значения:

$$T_{sm1} = T'_{smo};$$

$$G_{sm1} = G'_{smo}.$$

Давление в конце данного участка определяется зависимостью

$$P_{sm2} = P_{sm1} + (\lambda h_2 / d_э)\rho_{sm1} V^2_{sm1} / 2 - q h_2 (\rho_a - \rho_{sm1}), \qquad (59)$$

где h_2 – высота (длина) коллектора на данном участке, м; V_{sm1} – скорость перемещения газа, м/с.

Соответствующее изменение массового расхода газа в канале к концу данного участка составит

$$G_{sm2} = G_{sm1} + \Delta G_{da} + \Delta G_a, \qquad (60)$$

где ΔG_{da} – расход воздуха, фильтрующегося в коллектор через неплотности противопожарного нормально закрытого клапана на данном участке, кг/с.

Измененная к концу данного участка температура газа определяется зависимостью

$$T_{sm2} = \frac{Cp_{sm1} G_{sm1} T_{sm1} + T_a (\Delta G_{da} + \Delta G_a) - q_{l2} h_2}{Cp_{sm2} G_{sm2}}. \qquad (61)$$

Удельные теплопотери определяются согласно выше приведенным зависимостям (55)–(58).

Для приближенных вычислений температуры газа в конце *i*-го участка канала допускается не учитывать потери тепла через ограждающие конструкции канала. В этом случае взамен зависимости (61) может быть использовано соотношение:

$$T_{sm2} = \frac{(0{,}89163 + 0{,}000141\ \beta)^{0,5} - 0{,}94426}{0{,}0007},$$

где $\beta = \dfrac{Cp_{sm} G_{sm1} T_{sm1} + (\Delta G_{da} + \Delta G_a) T_a}{G_{sm1} + \Delta G_{da} + \Delta G_a}$.

5.1.6. Полученные в итоге аналогичных вычислений (для всех последующих вышележащих участков коллектора) параметры для верхней части коллектора (P_{smN}, T_{smN}, G_{smN}) используются для конечного определения параметров вентилятора системы:

$$L_v = 3600 \frac{G_{smN}}{\rho_{smN}}, \qquad (62)$$

$$P_{sv} = (P_{smN} + P_d) 1{,}2 / \rho_{smN}, \qquad (63)$$

где L_v – подача вентилятора, м^3/ч; P_{sv} – приведенное к стандартным условиям статическое давление вентилятора, Па; P_d – суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов (от коллектора до устройства наружного выброса), Па.

5.1.7. Для систем вытяжной противодымной вентиляции с естественным побуждением тяги минимально необходимое проходное сечение дымовых люков, устанавливаемых в покрытиях зданий, определяется зависимостью

$$\sum F_i = \frac{G_{sm}}{\mu_i \left\{2\rho_{sm}[gh_{sm}(\rho_a - \rho_{sm}) - 0{,}5k_a\rho_a V_a^2]\right\}^{0,5}},$$

где F_i – площадь проходного i-го дымового люка, м^2; G_{sm} – суммарный массовый расход газа через дымовые люки, кг/м^3; μ_i – коэффициент расхода i-го дымового люка; ρ_{sm} – плотность газа в дымовом слое при температуре T_{sm}, кг/м^3; h_{sm} – толщина дымового слоя, м; ρ_a – плотность наружного воздуха при температуре T_a, кг/м^3; k_a – аэродинамический коэффициент ветрового напора для покрытия здания; V_a – скорость ветра, м/с.

Указанная зависимость справедлива для дымовых люков однотипных конструкций (различающихся только типоразмерами). Для выбора значений G_{sm}, T_{sm} следует руководствоваться данными разд. 3, а значения T_a, k_a, V_a следует принимать согласно разд. 2 настоящих рекомендаций. Значение μ_i должно соответствовать техническим данным предприятия-изготовителя.

5.2. Оборудование систем приточной противодымной вентиляции

Основные параметры систем приточной противодымной вентиляции определяются согласно следующим зависимостям:

- для лестничных клеток:

$L_v = 3600\, G_{stN} / \rho_r$;

$P_{sv} = (P_{stN} + P_d)1{,}2 / \rho_r$;

- для лифтовых шахт:

$L_v = 3600\ G_{IN} / \rho_r$;

$P_{sv} = (P_{stN} + P_d)1{,}2 / \rho_r$;

- для тамбур-шлюзов:

$L_v = 3600\ G_{n.\,c.\,stn} / \rho_a$;

$P_{sv} = (20 + P_{dç})1{,}2 / \rho_a$,

где P_d – суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов (от защищаемых лестничных клеток, лифтовых шахт до вентиляторов с воздухозаборными устройствами), Па; P_{dq} – суммарное сопротивление присоединительных воздуховодов (от защищаемых тамбур-шлюзов до вентиляторов с воздухозаборными устройствами) с учетом гравитационного перепада давления, Па.

6. РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

Управление приточно-вытяжными системами противодымной вентиляции предусматривается в автоматическом (от системы обнаружения пожара) и в дистанционном (от кнопок у эвакуационных выходов с этажей или в пожарных шкафах) режимах. Указанные режимы управления должны быть приемлемы для различных пожароопасных ситуаций, определяемых местом возникновения пожара – расположением горящего помещения на одном из этажей, в одном из пожарных отсеков (в случае разделения на пожарные отсеки строительной части здания). Перечень совместно действующих систем противодымной вентиляции определяется в зависимости от таких пожароопасных ситуаций.

В границах отсека, в котором возник пожар, подлежат отключению все системы общеобменной вентиляции и кондиционирования, кроме функционально совмещенных с системами противодымной вентиляции. Для обеспечения расчетных режимов совместного действия систем противодымной венти-

ляции, входящих в установленный перечень, необходимо опережающее включение вытяжных систем относительно приточных систем. Период опережения должен быть не более 30 с. В остальных пожарных отсеках системы общеобменной вентиляции и кондиционирования могут оставаться включенными (в том числе с использованием систем, совмещенных с противодымными).

Указанные особенности обусловливают возможность определения в общем перечне максимального количества систем противодымной вентиляции единовременного действия. Отношение такого количества систем к их общему числу при известной установочной мощности каждой, в конечном счете, соответствует коэффициенту эффективного использования вентиляционного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по расчету систем противодымной защиты зданий различного назначения. – М.: ВНИИПО, 1983. – 35 с.

2. Противодымная защита зданий и помещений: Пособие 4.91 к СНиП 2.04.05-91. – М.: Промстройпроект, 1992. – 75 с.

3. Противодымная защита при пожаре: Рекомендации к МДС 41-1.99 СНиП 2.04.05-91*. – М.: СантехНИИпроект, 2000. – 66 с.

4. СНиП 41-01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 54 с.

5. *СНиП 23-01-99.* Строительная климатология. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 57 с.

6. International Building Cod. / USA. – ICC, 2003. – 660 с.

7. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения: Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 1988. – 56 с.

8. *Молчадский И.С.* Пожар в помещении. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

9. *Стецовский М.П.* Исследования газообмена на этаже пожара и определение некоторых параметров для расчета вентиляционных систем противодымной защиты жилых зданий: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1979.

10. СНиП II-3-79**. Строительная теплотехника. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.

11. *Михеев М.А.* Основы теплопередачи. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 392 с.

12. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.

13. ГОСТ 12.1.004.-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

14. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
(справочное)

Определение основных параметров пожарной нагрузки помещений

В перечень основных параметров пожарной нагрузки входят удельные, в том числе приведенные и критические величины, а также усредненные показатели теплофизических свойств. Для определения данных параметров используются соотношения и зависимости следующего вида:

1. Удельная приведенная пожарная нагрузка (отнесенная к площади пола помещения) соответствует выражению

$$g_0 = \frac{\sum m_i Q_{ni}^p}{F_f Q_{нд}^p},$$

где m_i – относительная массовая доля i-го вещества или материала в составе пожарной нагрузки; $Q_{ni}^p, Q_{нд}^p$ – соответственно теплота сгорания i-го вещества или материала в составе пожарной нагрузки и теплота сгорания древесины, кДж/кг; F_f – площадь пола помещения, м^2.

Значения $Q_{ni}^p, Q_{нд}^p$ определяются по справочным данным, приведенным, в частности, в стандарте [13] и монографии [14].

2. Удельная приведенная пожарная нагрузка (отнесенная к площади тепловоспринимающей поверхности ограждающих строительных конструкций помещения) соответствует зависимостям:

$$g_к = \frac{\sum m_i Q_{нi}^p}{(F_w - A_o)Q_{нд}^p};$$

$$F_w = 6V^{2/3};$$

$$A_o = \sum A_i,$$

где F_w – суммарная площадь внутренней поверхности ограждающих строительных конструкций помещения, м^2; A_i, A_o – соответственно площадь i-го проема и суммарная площадь проемов помещения, м^2; V – объем помещения, м^3.

3. Удельное критическое количество пожарной нагрузки (кг/м^2) соответствует зависимостям:

$$g_{ккр} = \frac{4500П^3}{1 + 500П^3} + \frac{V^{1/3}}{6V_0};$$

$$П = \frac{\sum A_{oi} h_{oi}^{1/2}}{V^{2/3}};$$

$$V_o = 0{,}263 \frac{\sum m_i Q_{нi}^p}{1000},$$

где П – проемность помещения, м$^{1/2}$; V_o – удельное количество воздуха, необходимое для полного сгорания пожарной нагрузки помещения, м^3/кг; h_{oi} – высота i-го проема помещения, м.

4. Средняя теплота сгорания пожарной нагрузки (кДж/кг) соответствует выражению

$$Q_{нср}^p = \sum m_i Q_{нi}^p.$$

5. Средняя скорость потери массы пожарной нагрузки (кг/м^2·с) соответствует выражению:

$$\Psi_{ср} = \sum m_i \Psi_i,$$

где Ψ_i – скорость потери массы i-го материала пожарной нагрузки (кг/м^2·с).

6. Линейная скорость распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки (м/с) может приниматься по максимальной величине, характерной для составляющих эту нагрузку материалов:

$$U_{cp} = U_{max\,i},$$

где $U_{max\,i}$ – максимальное значение скорости распространения пламени по поверхности i-го материала пожарной нагрузки помещения, м/с.

Значения теплоты сгорания, скорости потери массы и скорости распространения пламени по поверхности для различных материалов, которые могут находиться в составе пожарной нагрузки помещений, приведены в [8], [13].

Характерные усредненные значения этих параметров для пожарной нагрузки различных помещений представлены в таблице [14].

Усредненные значения параметров пожарной нагрузки различных помещений

Пожарная нагрузка	Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельная скорость выгорания, кг/м^2·с
Здания I и II степени огнестойкости: мебель + бытовые изделия	13,8	0,0108	0,0145
Здания I и II степени огнестойкости: мебель + ткани	14,7	0,0108	0,0145

Продолжение таблицы

Пожарная нагрузка	Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельная скорость выгорания, кг/м^2·с
Здания I степени огнестойкости: мебель + ткани (0,75+0,25)	14,9	0,0125	0,0162
Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)	14,002	0,042	0,0129
Помещения, облицованные панелями ДВП	18,1	0,0405	130
Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)	14,002	0,022	0,021
Общественные здания: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)	14	0,015	0,0137
Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах	14,5	0,0103	0,011
Сценическая часть зрительных залов (древесина)	13,8	0,0368	0,0145
Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)	23,3	0,0835	0,013

Продолжение таблицы

Пожарная нагрузка	Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельная скорость выгорания, кг/м^2·с
Резинотехнические изделия: резина, изделия из нее	36	0,0184	0,0112
Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)	14,1	0,0151	0,0145
Выставочные залы, мастерские: дерево + ткани + краска (0,9+0,09+0,01)	14	0,0163	0,0152
Мебель: дерево + облицовка	14,4	0,0154	0,0135
Промтовары (текстильные изделия)	16,7	0,0071	0,0244
Кабельный подвал/лоток (кабели АВВГ + АПВГ)	30,7	0,0071	0,0244
Радиоматериалы: полиэтилен, стирол, пропилен, гетинакс	34,8	0,0137	0,0177
Электротехнические материалы: текстолит, карболит	20,9	0,0125	0,0076

Окончание таблицы

Пожарная нагрузка	Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельная скорость выгорания, кг/м^2·с
Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция	25	0,0071	0,0244
Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен	36,4	0,0071	0,0244
Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен	34,6	0,0062	0,0085
Лиственные древесные строй-материалы (штабель)	13,8	0,0585	0,014
Клееные стройма-териалы (фанера)	18,4	0,0167	0,0089

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(справочное)

Теплофизические свойства дымовых газов

Теплофизические свойства газообразных продуктов горения, необходимые для расчетов зависимости различных параметров от температуры данной газовой среды, могут быть установлены на основе приведенных в таблице значений. В частности, указанные зависимости для теплоемкости получены в виде:

$$C_{psm} = a[1 + \exp(b - cT_{sm})]^{-1\ d},$$

где a = 1,3615803; b = 7,0065648; c = 0,0053034712; d = 20,761095;

$$C_{psm} = a + bT_{sm} + cT_{sm}^2,$$

где a = 0,94426057; b = 0,00035133267; c = – 0,0000000539.

Первая зависимость является предпочтительной по точности аппроксимации, вторая зависимость может быть принята для проведения расчетов меньшей точности.

Физические параметры дымовых газов

(при $P = 0{,}0981$ МПа; $p_{CO_2} = 0{,}13$; $p_{H_2O} = 0{,}11$; $p_{N_2} = 0{,}76$ [14])

t, °С	γ, Н·м$^{-3}$	c_p, Вт(м^2·°С)$^{-1}$	$\lambda \cdot 10^2$, Вт(м·К)$^{-1}$	$a \cdot 10^6$, м^2·с$^{-1}$	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м^2·с$^{-1}$	Pr
0	12,704	1,04	2,28	16,89	15,78	12,20	0,72
100	9,320	1,07	3,13	30,83	20,39	21,54	0,69
200	7,338	1,10	4,01	48,89	24,50	32,80	0,67
300	6,053	1,12	4,84	69,89	28,23	45,81	0,65
400	5,150	1,15	5,70	94,28	31,69	60,38	0,64
500	4,483	1,18	6,56	121,14	34,85	76,30	0,63
600	3,973	1,21	7,42	150,89	37,87	93,61	0,62
700	3,561	1,24	8,27	183,81	40,69	112,10	0,61
800	3,237	1,26	9,15	219,69	43,38	131,80	0,60
900	2,953	1,29	10,01	257,97	45,91	152,50	0,59
1000	2,698	1,31	10,90	303,36	48,36	174,30	0,58
1100	2,521	1,32	11,75	345,47	40,90	197,10	0,57
1200	2,354	1,34	12,62	392,42	52,99	221,00	0,56

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(*справочное*)

Воздухо- и дымопроницаемость воздуховодов и клапанов

1. Для определения утечек или подсосов воздуха применительно к вентиляционным каналам противодымных систем могут быть использованы следующие формулы, полученные аппроксимацией табличных данных [4]:

• для воздуховодов класса Н (в диапазоне давлений 0,2–1,4 кПа): $\Delta L = a\,(P - b)^c$, где ΔL – подсосы (утечки) воздуха, $м^3/м^2 \cdot ч$; P – давление, кПа; $a = 10{,}752331$; $b = 0{,}0069397038$; $c = 0{,}66419906$;

•для воздуховодов класса П (в диапазоне давлений 0,2–5,0 кПа): $\Delta L = \dfrac{ab + cP^d}{b + P^d}$,

где $a = 0{,}00913545$; $b = -3{,}1647682 \cdot 10^8$; $c = -1{,}2724412 \cdot 10^9$; $d = 0{,}68424233$.

2. Для противопожарных нормально закрытых клапанов числовые значения удельной характеристики сопротивления дымогазопроницанию в зависимости от температуры газа соответствуют данным, полученным при стендовых огневых испытаниях различных изделий на экспериментальной базе ВНИИПО:

Температура, °С	Характеристика удельного сопротивления дымогазопроницанию, $м^3 \cdot кг^{-1}$
20	29 900
20…100	30 300
100…200	38 300
200…300	37 900
300…500	29 300

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
1. **Общие положения** 4
2. **Исходные данные** 5
3. **Вытяжная противодымная вентиляция** 9
3.1. Удаление продуктов горения непосредственно из горящего помещения 9
3.2. Удаление продуктов горения из смежных с горящим помещений 14
4. **Приточная противодымная вентиляция** 17
4.1. Подача воздуха в лестничные клетки 18
4.2. Подача воздуха в лифтовые шахты 29
4.3. Подача воздуха в тамбур-шлюзы 32
4.4. Компенсирующая подача воздуха 33
5. **Технические характеристики оборудования** 34
5.1. Оборудование систем вытяжной противодымной вентиляции 34
5.2. Оборудование систем приточной противодымной вентиляции 41
6. **Режимы управления при пожаре** 42
Список литературы 44
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (*справочное*)
Определение основных параметров пожарной нагрузки помещений 46
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (*справочное*)
Теплофизические свойства дымовых газов 52
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (*справочное*)
Воздухо- и дымопроницаемость воздуховодов и клапанов 54

Редактор Н.В. Бородина
Технический редактор М.Г. Завидская
Ответственный за выпуск И.И. Ильминский

Подписано в печать 12.03.2008 г. Формат 60×84/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,73. Уч.-изд. л. 2,53.
Т. - 500 экз. Заказ №. 17

Типография ФГУ ВНИИПО МЧС России.
Мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха,
Московская обл., 143903

gost.e-ecolog.ru