

E. G. Butcher A.C. Parnell

Smoke control in fire safety design

London E. & F.N. Spon

Е. Батчер А. Парнэлл

Опасность дыма и дымозащита

Перевод с английского
канд. техн. наук Е.Ш. Фельдмана

Под редакцией
канд. техн. наук В.М. Есина

Москва Стройиздат 1983

Рекомендовано к изданию Главным управлением
пожарной охраны Министерства внутренних дел СССР

Батчер Е., Парнэлл А.

Б 28 Опасность дыма и дымозащита / Пер. с англ.
Е. Ш. Фельдмана; Под ред. В. М. Есина. — М.:
Стройиздат, 1983. — 152 с. ил.

В книге авторов из Великобритании изложены основные принципы
расчета и проектирования систем противодымной защиты — наиболее
важного фактора обеспечения безопасности людей при пожарах в зда-
ниях. Рассмотрены результаты исследований токсичности продуктов
горения различных строительных и отделочных материалов, их дымо-
образующей способности, видимости в дыму. Описаны способы дымо-
удаления из одноквартирных и многоквартирных зданий, а также способы
противодымной защиты путей эвакуации из многоквартирных зданий.
Приведены методы расчета параметров систем противодымной защиты.

Для инженерно-технических работников органов пожарной охраны
проектных организаций.

ББК 38.96
6С9.6

Б 3405000000—446 127 — 83 © 1979 Fire Cheek (U. K.) Ltd
047(01)—83

Е. Батчер, А. Парнэлл

ОПАСНОСТЬ ДЫМА И ДЫМОЗАЩИТА

Редакция переводных изданий
Зав. редакцией Р. Л. Рощина
Редактор Т. В. Рютин
Младший редактор Л. Г. Беглецова
Технический редактор В. Д. Павлова
Корректор А. В. Федина

ИБ № 2849

Сдано в набор 27.01.83	Подписано в печать 19.04.83
Формат 60×90/16	Бумага книжно-журн.
Печать высокая	Усл. печ. л. 9,5
Тираж 10000 экз.	Изд. № AV1—9808
	Заказ 54
	Цена 75 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

© Предисловие к русскому изданию.
Перевод на русский язык,
Стройиздат, 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Дым и токсичные продукты горения, выделяющиеся при пожаре, пред-
ставляют собой одну из главных причин гибели людей. С увеличением высоты
зданий скорость задымления путей эвакуации из здания (лестничные клетки,
шахты лифтов, поэтажные коридоры) возрастает. В связи с этим вопросы
противодымной защиты в настоящее время приобретают все большую ак-
туальность. Накопленный у нас в стране опыт проектирования и практиче-
ского использования систем противодымной защиты и результаты научных
исследований в этой области нашли отражение в статьях и научно-техниче-
ских отчетах, что ограничивает доступ к этим материалам широкого круга
специалистов. В предлагаемой вниманию читателей книге Е. Батчера и А. Пар-
нэлл в концентрированном виде изложены основы расчета и проектирования
систем противодымной защиты зданий и сооружений, рассмотрены дымооб-
разующая способность строительных материалов, видимость в условиях за-
дымления и токсичность продуктов горения. Данные о дымообразовании,
видимости в условиях задымления и о токсичности продуктов горения в оте-
чественной литературе представлены недостаточно полно. Этот пробел в из-
вестной степени будет восполнен выпуском данной книги.

Значительный интерес представляет материал о расчете параметров систем
дымоудаления из одноквартирных зданий и зданий с небольшим числом этажей.
Положительной чертой этих методов является возможность получения ко-
нечных результатов с помощью простых номограмм.

Достаточно подробно авторы освещают способы противодымной защиты
многоэтажных зданий и метод расчета параметров систем, реализующих
эти способы. Принципы противодымной защиты, принятые у нас в стране, в
основном совпадают с изложенными в книге.

К сожалению, в книге не нашли отражения накопленный в СССР опыт
в области противодымной защиты зданий и результаты научных исследований
советских авторов.

Книга будет полезна как строителям, занимающимся вопросами расчета и
проектирования противодымной защиты, так и работникам органов пожарной
охраны.

Канд. техн. наук В. М. Есин

ПРЕДИСЛОВИЕ

Каждый год статистика отмечает несчастные случаи, происшедшие в ре-
зультате пожаров в жилых зданиях, на работе и в общественных местах. При
этом преобладающее число смертных случаев связано с вдыханием людьми
дыма и токсичных газов.

Поэтому в настоящее время при проектировании зданий с учетом пожар-
ной безопасности стремятся защитить пути эвакуации от проникания в них
дыма и сохранить их свободными для доступа эвакуируемых людей и по-
жарной команды. Процесс движения дыма в зданиях все еще требует даль-
нейшего изучения, несмотря на большое число научных исследований, про-
веденных за последние 20 лет, и разработку различных систем противодым-
ной защиты.

Эта книга появилась в результате обобщения опыта авторов, а также
международного опыта практического применения систем противодымной за-
щиты. Архитекторы и инженеры-практики найдут в книге обоснованные ре-
комендации по установлению требований к проектированию зданий с учетом
пожарной безопасности, обеспечивающих эвакуацию людей при пожаре и по-
вышающих шансы пожарной команды потушить пожар.

К. Л. Холланд, главный инспектор
Пожарного управления Англии и Уэльса

ВВЕДЕНИЕ

При бесконтрольном распространении в здании огонь из доброго друга человека превращается в опасного врага. В 1976 г. в Великобритании более 1000 человек погибли непосредственно во время пожаров, а убытки от потери имущества и товаров составили более 204 млн. фунтов стерлингов. Статистические данные показывают, что за время, прошедшее после окончания второй мировой войны, доля смертных случаев в результате отравления дымом и токсичными газами во время пожаров заметно возросла и достигла 50%. Как указано в одной из работ¹⁾, число пожаров в жилых домах, происшедших из-за загорания мебели, оставалось неизменным более 12 лет и составляло свыше 20%. В последние годы доля смертных случаев от загорания мебели в жилых домах увеличилась более чем вдвое, причем основной причиной было воздействие дыма и токсичных газов (табл. 1, рис. 1 и 2).

Мебель английского производства, которая в настоящее время используется в промышленных, торговых или общественных зданиях, обладает способностью выделять значительное количество дыма даже при небольшом пожаре, в связи с чем всегда существует риск задымления помещения. Строительные правила и государственные нормативы многих стран не устанавливают технических требований для проектирования зданий, которые обеспечивали бы защиту от проникания дыма на маршрут, предназначенный для

ТАБЛИЦА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СМЕРТНЫХ СЛУЧАЕВ, ВЫЗВАННЫХ ЗАГОРАНИЕМ МЕБЕЛИ В ДОМАХ И ДРУГИМИ ПРИЧИНАМИ

Вид пожара и причины смертных случаев	Число смертных случаев			
	1962 г.	1967 г.	1970 г.	1972 г.
Смертные случаи при пожарах всех видов	667	779	839	1078
В том числе:				
от ожогов	480	322	358	459
от дыма или токсичных продуктов горения	150	382	425	502
по другим причинам	37	75	56	117
Смертные случаи, происшедшие в результате загорания мебели в жилых домах	156	212	270	289
В том числе:				
от ожогов	90	59	47	79
от дыма или токсичных продуктов горения	56	140	213	189
по другим причинам	10	13	10	21
Смертные случаи, происшедшие в результате пожаров других видов	511	567	569	789
В том числе:				
от ожогов	390	263	311	380
от дыма или токсичных продуктов горения	94	242	212	313
по другим причинам	27	62	46	96

¹⁾ Chandler S. E. (1976). Some trends in furniture fires in domestic premises. B. R. E. Current Paper 66/76, Fire Research Station, Borehamwood.

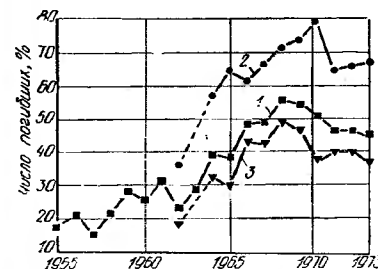


Рис. 1. Число смертных случаев, происшедших в результате действия дыма или токсичных продуктов горения в период с 1955 по 1973 г.

1 — при пожарах всех видов (внутри и вне зданий); 2 — в результате загорания мебели в домах; 3 — по другим причинам

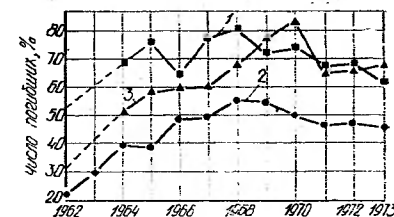


Рис. 2. Число смертных случаев, происшедших в результате действия дыма или токсичных продуктов горения в период с 1962 по 1973 г.

1 — в результате загорания обивки мебели (жилые дома); 2 — при пожарах всех видов (внутри и вне зданий); 3 — в результате загорания постельных принадлежностей (жилые дома)

эвакуации людей в критических ситуациях. Поэтому важно рассмотреть мероприятия, позволяющие снизить до минимума опасность задымления, и прежде всего изучить механизм образования дыма и состав продуктов горения. Знание свойств и плотности дыма, выделяющегося даже при совсем небольшом источнике пожара, позволяет проектировщику оценить степень необходимого риска и скорость движения дыма внутри проектируемого здания.

В следующих главах рассматриваются условия распространения пожара, методы его ограничения внутри помещения и возможность выброса продуктов горения в атмосферу, а также способы защиты от проникания дыма на пути эвакуации. Приводятся примеры, показывающие, что игнорирование опасности, возникающей при быстром распространении дыма, может привести к трагическим последствиям. Примеры проектных решений, приведенные в этой книге, позволят руководителям строительства, а также архитекторам и инженерам при проектировании зданий обеспечивать их пожарную безопасность, пользуясь некоторыми стандартными принципами. Однако эти принципы применимы не только для новых, но и для существующих зданий, когда повышается их этажность, а также при реставрации исторических объектов, пожарную безопасность которых необходимо улучшить.

1. КОЛИЧЕСТВО И СВОЙСТВА ДЫМА

1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Количество дыма, выделяемое во время пожара, различно при каждом пожаре и изменяется на разных стадиях горения; поэтому, рассматривая количество выделившегося дыма и его природу, можно оперировать только очень приближенными величинами.

Облако горячих газов над огнем состоит из многих компонентов, которые можно объединить в три группы:

горячие испарения и газы, выделяющиеся при горении материала;

несгоревшие продукты разложения и сконденсированные материалы (цвет этих продуктов может меняться от светлого до черного, как сажа);

часть нагретого огнем воздуха, попавшего внутрь поднимающегося облака.

Облако, окружающее огонь, называют дымом; он состоит из смеси компонентов трех вышеназванных групп и содержит газы, пары и распыленные твердые частицы.

Объем выделившегося дыма, его плотность и токсичность зависят от свойств горящего материала и от процесса горения; на последний влияют различные факторы, которые удобно рассматривать независимо друг от друга.

При определении количества дыма смесь поступившего воздуха и продуктов горения рассматривают в целом как общее выделение дыма. Общее количество выделившегося дыма будет зависеть от размеров пожара и здания, в котором произошел пожар. Свойства горящего материала влияют на количество выделившегося дыма, поскольку размеры пожара зависят от того, что и с какой скоростью горит. Дым может быть более или менее плотным, но он всегда имеет высокую температуру и содержит достаточно токсичных продуктов, чтобы при любой плотности стать опасным для жизни людей.

1.2. МЕХАНИЗМ ВЫДЕЛЕНИЯ ДЫМА

При горении твердых материалов в огне происходит выделение летучих горючих паров; их воспламенение над огнем вызывает появление столба пламени и горячих дымовых газов, которые благодаря тому, что их плотность ниже плотности холодного окружающего воздуха, перемещаются вверх. В результате окружающий воздух попадает в восходящий поток и смешивается с ним (рис. 1.1).

Часть поступившего воздуха составляет кислород, который необходим для горения газов, выделившихся при разложении топлива, и образования пламени. Однако, поскольку температура в облаке недостаточно высока и внутри облака нет полного перемешивания с кислородом, полного сгорания материала не происходит, в результате чего компонентами выделившегося дыма становятся свободные твердые частицы в виде сажи.

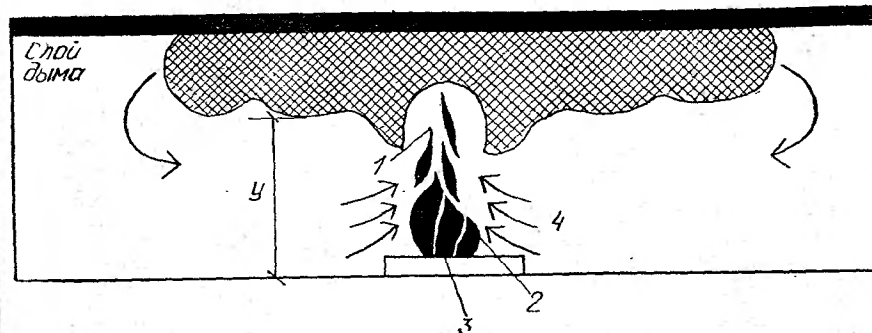


Рис. 1.1. Выделение дыма при горении

1 — пламя в облаке дыма; 2 — воспламенившиеся горючие пары; 3 — разложение твердого топлива, дающее воспламеняемые пары; 4 — поступающий воздух; y — высота незадымленного слоя

Независимо от высоты языков пламени восходящий столб горячих газов содержит намного больше воздуха, чем требуется для сгорания горючих газов. В то же время избыточный воздух нагревается и хорошо смешивается с горячими дымовыми продуктами горения, образуя весьма важный компонент в составе дыма.

1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДЫМА, ВЫДЕЛЯЮЩЕГОСЯ ПРИ ПОЖАРЕ

Объем горючих газов относительно невелик по сравнению с полным объемом воздуха, поступившего в зону горения, и поэтому можно сказать, что скорость выделения дыма при пожаре приблизительно равна скорости воздуха, поступающего в восходящий столб горячих газов и пламени.

Скорость воздуха, поступившего в зону горения, зависит от периметра пожара, тепла, выделяемого огнем, и эффективной высоты столба горячих газов над огнем (т. е. расстояния между полом и нижней границей слоя дыма и горячих газов, образовавшихся под потолком).

Масса газа, участвующего в пожаре (и, следовательно, количество выделившегося дыма), может быть рассчитана по следующему уравнению [1]:

$$M = 0,096 P \rho_0 y^{3/2} (g T_0 / T)^{1/2}. \quad (1.1)$$

Обозначения параметров, входящих в это уравнение, даны в табл. 1.1. Численные значения, приведенные в таблице, являются стандартными для обычных условий пожара, когда пламя в облаке дыма поднимается вверх к слою дыма, находящемуся под потолком, и предназначены для приближенного расчета скорости выделения дыма, за исключением особых случаев, для которых имеются специальные данные.

ТАБЛИЦА 1.1. ОБОЗНАЧЕНИЯ И СТАНДАРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В УРАВНЕНИИ (1.1)

Символ	Параметр	Стандартные значения, которые можно применять для расчета количества дыма
P	Периметр пожара	Задается (в м)
y	Расстояние между полом и нижней границей слоя дыма под потолком	То же
ρ_0	Плотность окружающего воздуха	1,22 кг/м³ при 17°C
T_0	Абсолютная температура окружающего воздуха	290 К
T	Абсолютная температура пламени в облаке дыма	1100 К
g	Ускорение свободного падения	9,81 м/с²
M , кг/с	Скорость выделения дыма	—

После подстановки числовых значений из табл. 1.1 выражение для расчета скорости выделения дыма примет вид

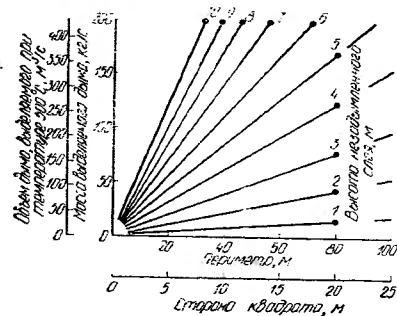


Рис. 1.2. Выделение дыма при различных пожарах

$$M = 0,188 P y^{3/2} \quad (1.2)$$

Из этого преобразованного выражения ясно видно, что скорость выделения дыма прямо пропорциональна размерам пожара P и зависит от высоты незадымленного слоя над огнем y .

На рис. 1.2, показаны ожидаемые значения скорости выделения дыма при заданных размерах пожара P и высоте незадымленного слоя над огнем y , которая может быть при возникновении пожара в здании. Размеры пожара заданы на рис. 1.2 двумя способами: даны периметр пожара, м, и длина стороны квадрата, занимаемого огнем, м. Скорость выделения дыма также представлена двумя способами: в виде массовой скорости, кг/с, и объемной скорости при температуре 500°C, м³/с.

Переход от массовой скорости выделения дыма к объемной может быть выполнен расчетным путем с учетом следующих данных: плотность воздуха при температуре 17°C равна 1,22 кг/м³; плотность воздуха (как и дыма) при температуре T , °C, равна кг/м³:

$$1,22 \left(\frac{290}{T + 273} \right); \quad (1.3)$$

скорость выделения дыма из кг/с может быть переведена в м³/с путем деления на плотность, найденную при температуре дыма.

Эквивалентные величины массовой и объемной скоростей выделения дыма в различных единицах приведены в табл. 1.2 в виде стандартного ряда значений.

ТАБЛИЦА 1.2 ПЕРЕВОД МАССОВОЙ СКОРОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ДЫМА В ОБЪЕМНУЮ

Массовая скорость, кг/с	Объемная скорость м³/с при температуре, °C		Массовая скорость, кг/с	Объемная скорость м³/с при температуре, °C	
	20	500		20	500
200	163,9	436,9	10	8,2	21,8
100	81,9	218,5	9	7,4	19,7
90	73,8	196,6	8	6,6	17,5
80	65,6	174,8	7	5,7	15,3
70	57,4	152,9	6	4,9	13,1
60	49,2	131,1	5	4,1	10,9
50	41,0	109,2	4	3,3	8,7
40	32,8	87,4	3	2,5	6,5
30	24,6	65,4	2	1,6	4,4
20	16,4	43,7	1	0,8	2,2

1.1. ОГРАНИЧЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ

В большинстве случаев при возникновении пожара в здании почти невозможно рассчитать количество дыма, поскольку условия его образования очень изменчивы и непредсказуемы. Было отмечено, что скорость выделения дыма зависит от размеров (т. е. периметра) пожара, увеличиваясь по мере расширения пожара и распространения его границ.

С другой стороны, скорость выделения дыма зависит также от высоты незадымленного слоя над огнем. При распространении огня слой дыма под потолком сгущается и растет, а незадымленный слой над огнем уменьшается; поэтому скорость выделения дыма будет становиться все меньше и меньше. Влияние этих противодействующих факторов будет зависеть от условий, сложившихся в здании в момент пожара, а на суммарное количество дыма, выходящего при пожаре, конечно, оказывают влияние и другие факторы, среди которых важное значение имеет возрастание выделяемого тепла при увеличении размеров пожара. Даже в специализированных зданиях невозможно дать количественную оценку таких переменных факторов, поэтому любая попытка точно рассчитать скорость выделения дыма или спроектировать систему противопожарной защиты, основанную на общепринятых условиях, оказывается нереальной. Однако одним из первых принципов защиты от пожара является ограничение размеров пожара или его распространения в здании.

Для здания большой площади, обычно оборудованного специальными спринклерными установками, можно предположить, что пожар будет ограничен квадратом размером примерно 3×3 м. Такое допущение основано на опытных данных, которые показывают, что в помещениях, оборудованных спринклерами, основные размеры пожара ограничиваются размерами, приблизительно равными расстоянию от пола до головки спринклеров. В результате в большинстве проектов установка спринклеров для противопожар-

ной защиты стала постоянным требованием, а указанные выше размеры пожара включаются в расчет для определения параметров систем противодымной защиты.

1.5. КОЛИЧЕСТВО ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ ДЫМА

После того как принята предпосылка об ограничении размеров пожара квадратом 3×3 м (или эквивалентным кругом диаметром 3,8 м), скорость выделения дыма может быть рассчитана по уравнению (1.2) или непосредственно найдена по рис. 1.2. В табл. 1.3 даны типичные значения, полученные на основе предположения о таком нагреве продуктов горения, при котором пламя проникает внутрь слоя дыма и горячих газов, собирающихся под потолком в зоне над огнем.

Из уравнения (1.2) и рис. 1.2 можно определить скорость выделения дыма в кг/с. Объем, занимаемый при этом горячими газами, зависит от их температуры; в конце пожара, когда температура может превысить 500°C , 1 кг дыма будет занимать объем около 2 м^3 . Однако на некотором расстоянии от огня, где дым может охладиться до температуры, незначительно превышающей температуру окружающего воздуха, 1 кг дыма будет занимать объем, равный лишь $0,8 \text{ м}^3$.

С помощью табл. 1.3 массовую скорость образования дыма можно перевести в объемную при двух значениях температуры. Из табл. 1.3 видно, что объем выделяющегося дыма очень велик даже при совсем небольшом пожаре, и важно ясно представлять себе, насколько быстро здание может заполниться дымом.

Если слой дыма, образовавшийся под потолком здания, распространяется вниз, опускаясь ниже уровня, равного росту человека, то возникают предельно опасные условия. Это может произойти очень быстро; в табл. 1.4 приведено приближенное время, за которое дым, выделяющийся при небольшом пожаре (3×3 м), заполнит полностью или частично здания различных размеров. Данные табл. 1.4 показывают, что во всех зданиях, даже самых больших, длительность заполнения помещений дымом от потолка до высоты плеч человека невелика, а в большинстве случаев очень мала.

ТАБЛИЦА 1.3. СКОРОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ДЫМА ПРИ ПОЖАРЕ РАЗМЕРОМ 3×3 М

Высота незадымленного слоя (расстояние от пола до нижней границы слоя дыма), м	Скорость выделения дыма				Высота незадымленного слоя (расстояние от пола до нижней границы слоя дыма), м	Скорость выделения дыма			
	массовая, кг/с	объемная, м³/с, при температуре, °С		массовая, кг/с		объемная, м³/с, при температуре, °С			
		500	20			500	20		
2	6	13,1	5,0	5	25	61,5	20,7		
2,5	9	19,6	7,5	6	33	71,9	27,4		
3	12	26,2	10,0	8	51	111,2	42,3		
4	18	39,2	14,9	10	71	154,8	58,9		

ТАБЛИЦА 1.4. ПРИБЛИЖЕННОЕ ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ДЫМОМ ЗДАНИЯ ОТ ПОТОЛКА ДО ЗАДАННОЙ ВЫСОТЫ НАД ПОЛОМ ПРИ ПОЖАРЕ РАЗМЕРОМ 3×3 М

Высота здания, м	Площадь здания, м²								
	100			1000			10 000		
	Расстояние от пола до границы слоя дыма, м								
	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5
	Время, с			Время, мин					
4	4	11	17	0,7	1,8	2,8	6,9	18,4	28
5	7	14	20	1,2	2,3	3,3	11,5	23	33
6	9	16	22	1,5	2,6	3,6	15	26,5	36
8	12	19	25	2,0	3,1	4,1	20	31	41
10	14	21	27	2,3	3,5	4,4	23	35	44
15	17	24	30	2,8	4,0	4,9	28	40	49,5

Рассмотрим наименьшее из приведенных в табл. 1.4 помещений площадью пола 100 м^2 . Помещение таких размеров высотой 6 м представляет собой малый лекционный зал вместимостью 100 чел. Если пожар возник перед демонстрационным столом, например, вследствие поломки стеклянной аппаратуры, разбрызгивания и выплески воспламеняющейся жидкости (бензол), то он быстро распространяется и его периметр может достичь 12 м за несколько секунд. Из табл. 1.4 видно, что при таком пожаре лекционный зал названных выше размеров заполняется дымом до уровня плеч человека (1,5 м) примерно за 20 с. Это произойдет прежде, чем большинство присутствующих осознают, что начался пожар, и успеют вскочить и убежать. Данный пример является яркой иллюстрацией опасных ситуаций, которые могут быстро возникнуть из-за значительного количества дыма, выделяющегося даже при небольшом пожаре (рис. 1.3).

Расчеты, проведенные для составления табл. 1.4, являются приближенными, так как не учитывают длительности распространения дыма под потолком в продольном и поперечном направлениях до достижения ограждающих стен. Время такого распространения дыма невелико и зависит от его температуры; скорость перемещения переднего края дымового облака может приближенно приниматься равной 1 м/с . Таким образом, по сравнению с временем, необходимым на образование слоя дыма, временем распространения дыма вдоль потолка можно пренебречь. С учетом такого допущения время, необходимое для заполнения дымом здания любого размера, можно рассчитать по приведенному ниже уравнению Хинкли [1]:

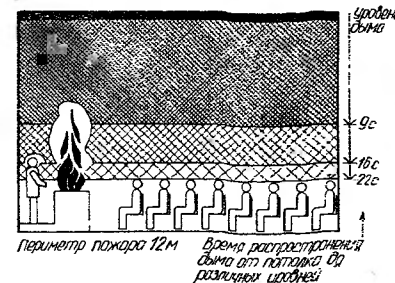


Рис. 1.3. Уровни дыма в небольшой комнате (высота 6 м, площадь пола 100 м^2)

$$t = \frac{20 A}{P g^{1/2}} \left(\frac{1}{y^{1/2}} - \frac{1}{h^{1/2}} \right), \quad (1.4)$$

где t — время, с; A — площадь пола здания, комнаты или секции, m^2 ; P — периметр пожара, м; y — расстояние от пола до нижней поверхности слоя дыма, м; h — высота здания, комнаты или секции, м; g — ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$).

1.6. СВОЙСТВА ДЫМА

Дым, выделяющийся при пожарах, очень разнообразен по свойствам и составу. По внешнему виду дым отличается цветом — от светлого до черного при содержании в нем не полностью сгоревших продуктов разложения и конденсации горючего материала. Различные случаи образования дыма иллюстрируются примерами, приведенными ниже. Для удобства плотности дыма выражена в единицах видимости, которые будут далее подробно рассмотрены. При сжигании 0,5 кг дров в небольшой комнате отдыха объемом 35 m^3 выделяется достаточно дыма, чтобы снизить видимость примерно до 1 м, т. е. при этом не будет видна ладонь вытянутой руки.

Таков результат горения маленькой вязанки дров! Эквивалентный результат получается при сгорании 0,07 кг вспученного полистирола, 0,1 кг пенорезины, 0,5 кг пенополиуретана, 0,3 л керосина. Сжигание любого из этих материалов в указанном количестве в той же самой комнате снижает видимость до 1 м.

Другим примером может служить обычный пенополиуретановый матрац с водонепроницаемым нейлоновым чехлом, при горении которого за несколько минут выделяется большое количество дыма (рис. 1.4).

Подобные испытания могут быть проведены для обычно применяемых в зданиях материалов [2]. В табл. 1.5 приведены результаты горения куска дощатой обшивки размером 220×220 мм в комнате объемом 34 m^3 в течение 20–40 мин. Результаты в таблице даны в единицах видимости. Эти примеры позволяют сделать вывод, что количество выделяемого дыма определяется не только свойствами различных материалов, но может также зависеть от процесса их горения.

Некоторые составляющие дыма будут газообразными и бесцветными (воздух, угарный газ, углекислый газ и т. д.). Другие составляющие конденсируются из пара, образуя мелко распыленные капельки в форме светонепроницаемого облака (в зоне водяного пара конденсация замед-

ТАБЛИЦА 1.5. ВЫДЕЛЕНИЕ ДЫМА РАЗЛИЧНЫМИ СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Материал	Толщина, мм	Видимость при горении образцов в комнате объемом 34 m^3 , м, в условиях	
		открытого пламени	тления
Грубая штукатурка	9,5	17	15
Полирующий фибровый картон	10,7	18	2,7
Аккумуляторный картон	12,7	2,7	1,5
Керофанера	6,4	4,2	2,3
Твердый картон	3,7	4,2	2,2
Твердый картон с меламиновой облицовкой	3,2	4	3,3
Твердый картон с поливинилхлоридной облицовкой	5,7	3	3,8
Жесткий поливинилхлорид	1,6	2,8	3
Многослойная полиуретановая плита	13	4,7	4
Полиэфир, армированный стекловолокном (замедлитель горения)	3,3	1,5	1,6

ляется); наконец, типичным компонентом будут взвешенные твердые частицы (подобные саже), образующиеся при сгорании топлива, от которого остается зола, распыленная в поднимающемся вверх облаке дыма.

При изучении свойств дыма рассматривают следующие два аспекта:

уменьшение освещенности помещения, в результате чего возникает опасность снижения видимости;

токсичные свойства газов и паров, входящих в состав дыма и представляющих реальную опасность для жизни людей.

Ниже рассмотрен каждый из этих двух аспектов по отдельности.

1.7. ПЛОТНОСТЬ ДЫМА

Плотность является важной характеристикой дыма, так как из-за нее снижается видимость, что препятствует эвакуации людей при пожаре. Если люди находятся в незнакомом здании, то снижение видимости может очень быстро стать причиной опасной ситуации.

Снижение видимости зависит от состава и концентрации дыма, размера частиц и их распределения, природы освещения, физического и психического состояния наблюдателя. Плотность дыма можно измерить объективно путем определения снижения интенсивности светового луча при его прохождении через задымленную атмосферу. Затем объективные измерения можно субъективно связать со снижением видимости. Результаты объективных измерений плотности дыма обычно выражают в единицах ослабления света или оптической плотности.

Ослабление света представляет собой степень ослабления светового луча при его прохождении через задымленную атмосферу. Если интенсивность параллельно падающих лучей света обозначить I_0 , а интенсивность лучей после прохождения через слой дыма



Рис. 1.4. Пенополиуретановый матрац с чехлом из водонепроницаемого нейлона через 5 мин после воспламенения

толщиной x , измеренную с помощью обычных оптических приборов (например, фотоэлемента), — I_x , то ослабление света S_x , выраженное в процентах, будет равно:

$$S_x = 100 (1 - I_x/I_0). \quad (1.5)$$

Оптическая плотность. Ослабление света при прохождении через дым подчиняется логарифмическому закону. Если при прохождении через первый слой дыма толщиной 1 м интенсивность параллельных лучей света снижается, например, на 50%, то при прохождении через второй слой такой же толщины снижение интенсивности будет составлять 50% снижения интенсивности в первом слое, т. е. 25%, а при прохождении через третий слой — 50% снижения интенсивности во втором слое, т. е. 12,5%. Описанная зависимость известна из работы Ламберта по оптике как «закон поглощения». Он может быть выражен математически и применен для определения оптической плотности дыма OD_x как десятичный логарифм отношения интенсивности лучей света в воздухе к их интенсивности после прохождения слоя дыма толщиной x :

$$OD_x = \lg I_0/I_x. \quad (1.6)$$

Таким образом, оптическая плотность, равная 1,0, означает, что поглощается 90% падающего света.

1.7.1. Связь между ослаблением света и оптической плотностью. Два различных способа для выражения результатов измерений плотности дыма могли бы со временем привести к путанице, однако они связаны между собой, и процент ослабления S_x может быть преобразован в оптическую плотность OD_x с помощью уравнения

$$OD_x = 2 - \lg (100 - S_x), \quad (1.7)$$

где при измерениях S_x и OD_x принята одна и та же длина пути прохождения света через дым. Следует также отметить, что ни ослабление света, ни оптическая плотность не являются абсолютными показателями плотности дыма, так как основаны на определенной длине пути прохождения света через слой дыма.

Тем не менее имеется прямая связь между оптической плотностью и длиной пути, и для объяснения этой связи мы можем сослаться на закон Бера из аналитической химии, который гласит, что если два раствора с одинаковой окраской компонентов приготовлены на одинаковых растворителях и один из растворов имеет удвоенную концентрацию по сравнению со вторым, то поглощение света при прохождении через первый раствор заданной толщины будет равно поглощению во втором растворе удвоенной толщины:

$$l_1 c_1 = l_2 c_2, \quad (1.8)$$

где l — толщина раствора; c — концентрация раствора.

Исходя из постоянства свойств частиц дыма, Разбаш [3] предположил, что закон Бера может быть применен к концентрации дыма и позволяет получить прямое соотношение между оптической плотностью OD_x , длиной пути передачи света x и концентрацией дыма c :

КЗ 80
4933
 $OD_x = xc B,$

(1.9)

где B — постоянная, зависящая от свойств дыма.

Из этого уравнения также видно, что оптическая плотность прямо пропорциональна длине пути (для дыма такой же концентрации):

$$OD_x = (x/y) OD_y, \quad (1.10)$$

где x и y — оптические пути различной длины.

Связь между ослаблением света и длиной пути не столь проста, как уравнение (1.9), но она может быть получена для частных случаев с помощью уравнений (1.7) и (1.10).

Несмотря на отсутствие формального стандартного соглашения, обычно на практике при объективных измерениях плотности дыма принимают путь прохождения света длиной 1 м. Это облегчает сравнение между несколькими сериями измерений.

Из уравнения (1.9) также следует, что при заданном дыме и известной длине пути оптическая плотность OD прямо пропорциональна концентрации дыма. Этот факт важен при рассмотрении всех аспектов определения плотности дыма и особенно при оценке снижения его концентрации. Например, если дым имеет оптическую плотность P при длине пути 1 м и если концентрация этого дыма снижалась в n раз при поступлении (и хорошем смешивании) свежего воздуха, то оптическая плотность на 1 м разбавленного дыма будет равна P/n .

Легкость, с которой можно от результатов измерений оптической плотности перейти к длине пути или снижению концентрации дыма, особенно полезна для установления связи между оптической плотностью и видимостью, рассмотренной ниже.

1.7.2. Удельная оптическая плотность. Робертсон [4, 5] предложил использовать удельную оптическую плотность, позволяющую оценить потенциальную возможность выделения дыма различными материалами и определить фотометрическую плотность, когда дым распространяется в различных по объему комнатах или зданиях. Методы измерения удельной оптической плотности описаны в экспериментальном стандарте, выпущенном Национальной противопожарной ассоциацией (NFPA) [6]. Рассматриваемый показатель характеризует выделение дыма материалом, имеющим такую же толщину, как образец, в определенных температурных условиях:

$$D_s = D (V/AL), \quad (1.11)$$

где D_s — удельная оптическая плотность в момент измерения (D_m — максимальное значение D_s во время испытаний); D — мера степени непрозрачности, выраженная десятичным логарифмом по уравнению (1.6); $D = OD_x$; L — длина пути света, на которой измеряется плотность дыма; V — объем камеры, заполненной дымом, где проводятся измерения; A — площадь образца, на которой создаются заданные температурные условия.

Уравнение (1.11) может быть преобразовано в выражение, позволяющее получить максимальное количество выделяемого дыма рассматриваемыми материалами:

$$a D_m = V D/L, \quad (1.12)$$

или показывающее оптическую плотность на единицу длины пути выделения дыма:

$$D/L = a D_m/V, \quad (1.13)$$

где a — площадь пожара при горении рассматриваемого материала; L — оптическая длина пути; V — объем комнаты, в которой выделяется дым, или объем, занятый дымом.

1.7.3. Видимость. Субъективное ощущение плотности дыма связано у человека с расстоянием, на котором он видит сквозь слой дыма, и это ощущение может стать очень важным фактором, определяющим степень опасности от заданного количества дыма. Видимость в дыму зависит от многих условий, которые можно разделить на три группы.

К первой относятся условия, связанные со свойствами дыма: цвет дыма, размер его частиц, плотность, физиологический эффект от воздействия дыма (т. е. его раздражающая способность).

Вторая группа зависит от окружающей обстановки: размера и цвета наблюдаемого объекта, его освещения (интенсивности света как сзади, так и спереди).

Третья группа условий определяется личностью наблюдателя: его физическим и психическим состоянием, а также тем, находится ли наблюдатель в исследовательской лаборатории в контролируемых условиях или в паническом состоянии при реальном пожаре.

Получение информации о группе людей, находящейся в реальных условиях, весьма затруднительно, и фактически приходится признать, что основная имеющаяся информация касается лабораторных исследований.

1.7.4. Измерение видимости. Наиболее всесторонние исследования связи между видимостью и плотностью дыма приведены в работе Т. Джина [7], где рассмотрены как свойства дыма, так и освещенность объекта. Он установил, что яркость освещения является очень важным параметром, и при измерениях видимости могут быть выделены две отдельные группы: освещение предмета спереди и освещение предмета сзади. Результаты, полученные при освещении сзади, не были известны авторам настоящей работы, а результаты измерений при освещении спереди хорошо согласуются с опубликованными ранее работами Мальхотры [8] и Разбаша [9].

Рис. 1.5 позволяет сравнить результаты измерения видимости при переднем освещении, полученные в работах разных авторов, когда эти результаты переведены в сравнимые значения оптической плотности. Отклонения, всегда имеющиеся в таких работах, хорошо согласуются друг с другом. Разбаш и Мальхотра сообщают об отклонениях до 25% при различных случаях измерения видимости одним и тем же наблюдателем в одинаковых условиях. Джин сообщает об отклонениях до 30% в зависимости от нескольких факторов, в том числе от интенсивности освещения и цвета дыма. Видимость наблюдаемого предмета при освещении сзади, по Джину, в 2,5 раза больше по сравнению с освещением спереди. На рис. 1.5 средние значения результатов Джина представлены штриховой

линией, а широкая полоса показывает амплитуду разброса результатов.

Измерения, проведенные при заднем освещении, очень немногочисленны; работа Джина, вероятно, представляет собой единственную систематизацию таких измерений. Результаты измерений при освещении сзади не показаны на рис. 1.5, но они могут быть получены при применении коэффициента 2,5, указанного выше.

1.7.5. Простое правило для расчета видимости. Из рассмотрения рис. 1.5 видно, что при измерении видимости при переднем освещении по результатам, нанесенным на диаграмму, можно построить одну центральную линию, которая позволяет приблизительно определить соотношение между видимостью и оптической плотностью дыма. Эта зависимость очень проста, и получаемая точность вполне достаточна для большинства случаев защиты от пожара.

Приближенная линия, построенная на рис. 1.5, показывает, что при оптической плотности дыма на 1 м, равной 1,0, видимость равна 1 м, а при оптической плотности на 1 м, равной 0,1, видимость равна 10 м. Это позволяет получить очень простые соотношения:

при переднем освещении

$$\text{видимость, м,} = \frac{1}{\text{оптическая плотность на 1 м}};$$

при заднем освещении

$$\text{видимость, м,} = \frac{2,5}{\text{оптическая плотность на 1 м}}$$

1.7.6. Практическое значение оптической плотности дыма. Приведенное выше рассмотрение связи между оптической плотностью дыма и видимостью может показаться чисто теоретическим, если читатель из опыта не имеет собственного представления о значении оптической плотности и не может оценить приведенные ниже приближенные значения.

Обычно принимают, что густой неразбавленный дым, выделяемый при пожаре, будет иметь оптическую плотность на 1 м, равную 10 или даже больше. При этом в соответствии с простым правилом, приведенным выше, видимость составляет всего 10 см, что вполне отвечает выражению «невозможно увидеть руку перед лицом» и

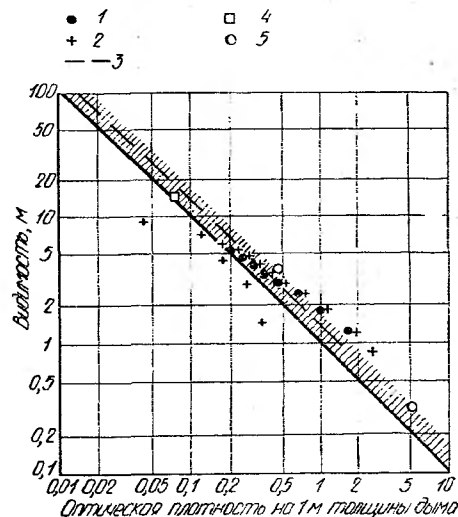


Рис. 1.5. Сравнение результатов измерений видимости

1 — по Разбашу; 2 — по Мальхотра; 3 — по Джину; 4 — результаты экспериментальной пожарной школы в Лос-Анджелесе; 5 — по Бонду и Бриду

более точно отражает ситуацию, чем выражение «нулевая» видимость. С другой стороны, можно сказать, что минимальная видимость, допускаемая в путях эвакуации, должна составлять 5 м, что в свою очередь соответствует оптической плотности на 1 м, равной 0,2.

Это два важных уровня плотности дыма, которые не должен забывать архитектор. В соответствии с принятой выше теорией для превращения дыма с оптической плотностью на 1 м, равной 10, в дым с этой же характеристикой, равной 0,2, необходимо смешивать дым исходной густоты со свежим воздухом, разбавив его объем в 50 раз.

1.8. ТОКСИЧНОСТЬ ДЫМА

Любой дым, выделяемый при пожаре, содержит токсичные газы, и если длительное время нет защиты от дыма, то его воздействие может привести к смертельному исходу. В некоторых случаях даже кратковременное отсутствие защиты от дыма может иметь смертельный исход. Разбаш [3] описал токсическое воздействие, связанное с дымом, и в его статье приведены очень сложные расчеты, основанные на современном уровне знаний, особенно в отношении опасности, которая может возникнуть при горении материалов из пластмасс. Угарный газ (оксид углерода) всегда содержится в дыме, выделяемом при пожаре, и его присутствие часто обнаруживают при вскрытии трупов (до 40%). Несмотря на то что этот газ представляет собой только один из многих потенциально токсичных компонентов, находящихся в дыме пожара, он почти всегда имеет более высокую концентрацию, чем остальные компоненты, и поэтому большинство смертных случаев связывают с воздействием угарного газа.

В одной из публикаций Пожарной исследовательской станции [10] указывается, что при горении фанеры (включая образцы, содержащие первичный кислый фосфат аммония для повышения огнестойкости) главная токсическая опасность связана с выделением угарного газа. В этой работе описаны также испытания различных покрытий из пластиков, обычно применяемых в зданиях в настоящее время. Аналогичные исследования по проблеме токсичных выделений при горении выполнены в университете штата Юта (США) профессором Эйнгорном [11] и его сотрудниками.

В некоторых работах отмечаются другие токсичные компоненты, содержащиеся в дыме, выделяемом при пожаре. Банбери [12] приводит более 50 компонентов, выделяющихся при деструктивной перегонке древесины, а Вулли [13] сообщает об исследовании токсичных продуктов, выделяющихся при горении пластмасс. Большинство компонентов, обычно содержащихся в дыме, а также источники их образования приведены в табл. 1.6 [14].

Из этой таблицы видно, насколько разнообразны токсичные компоненты, которые могут содержаться в дыме. Информация о токсических свойствах компонентов дыма относительно невелика,

ТАБЛИЦА 1.6. ТОКСИЧНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВЫДЕЛЯТЬСЯ ПРИ ГОРЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Токсичный газ или пар	Источник образования (материал)
Угарный газ (диоксид углерода), угарный газ (оксид углерода) Оксиды азота Пламенный водород	Все горючие материалы, содержащие углерод Целлулоид, полиуретаны Древесина, шелк, кожа, пластмасса, со- держащая азот, целлюлозные материа- лы, целлюлозные пластмассы, вискоза Древесина, бумага Резина, тиокоты Поливинилхлорид, огнестойкие пластмас- сы, фторированные пластмассы
Акролеин Диоксид серы Галогенсодержащие кислоты и дру- гие соединения (соляная, бромистово- дородная, плавиковая кислоты, фос- фор)	Меламин, нейлон, мочевиноформальде- гидные смолы Фенолформальдегид, древесина, нейлон, полиэфирные смолы Полистирол Пенопласты Некоторые огнестойкие пластмассы Пенополиуретан
Аммиак	
Альдегиды	
Бензол Азо-бис-сукцинонитрил Компоненты, содержащие сурьму Изоцианаты	

и имеющиеся сведения требуют дальнейшей проверки путем проведения экспериментов на животных.

При оценке токсического эффекта некоторых веществ, выделяющихся при пожаре, необходимо учитывать возможность острого отравления, обусловленного повышением концентрации этих веществ даже на короткое время. Максимально допустимая концентрация токсичных газов при длительном их воздействии представляет практический интерес при оценке опасности нахождения людей в атмосфере промышленных предприятий. Весьма приближенное соотношение между концентрациями в двух названных выше случаях может быть получено из табл. 1.7. Все показатели этой таблицы имеют приближенные значения. Приведенные значения позволяют сделать вывод, что концентрация, определяемая как опасная при кратковременном воздействии, примерно в 20 раз выше максимально допустимой концентрации при длительном воздействии. Это соотношение никогда не бывает менее 1:20, а в некоторых случаях становится значительно большим, поэтому, когда опасная концентрация при кратковременном воздействии неизвестна и определяется по максимально допустимой концентрации при длительном воздействии с помощью коэффициента, равного 20, полученный результат всегда будет иметь определенный запас.

Из табл. 1.7 ясно, что очень малое количество токсичных продуктов, выделяемых при горении, может привести к смертельному исходу даже при кратковременном воздействии на человека. Например, установлено [15], что нахождение в течение 5 мин в атмосфере, содержащей 1% оксида углерода CO, может привести к потере сознания и затем вызвать смертельный исход за очень короткое время. Разбаш [3] измерил концентрацию CO, выделившегося

ТАБЛИЦА 1.7. КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ СТАТЬ ОПАСНЫМИ В ТЕЧЕНИЕ КОРОТКОГО ПЕРИОДА, И МАКСИМАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, ДОПУСТИМЫЕ В ТЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА, МЛН.—1

Компонент	Максимально допустимая концентрация при длительном воздействии газа	Опасная концентрация при кратковременном воздействии газа	Компонент	Максимально допустимая концентрация при длительном воздействии газа	Опасная концентрация при кратковременном воздействии газа
Углекислый газ	5000	100 000	Диоксид азота	5	120
Аммиак	100	4 000	Плавиковая кислота	3	100
Угарный газ	100	4 000	Хлор	1	50
Бензол	25	12 000	Фосген	1	25
Сероводород	20	600	Треххлористый фосфор	0,5	70
Синильная кислота	10	300	Акролеин	0,5	20
Соляная кислота	5	1 500	Бром	0,1	50
Диоксид серы	5	500			

ТАБЛИЦА 1.8. КОЛИЧЕСТВА ОКСИДА УГЛЕРОДА И ЦИАНИСТОГО ВОДОРОДА, ВЫДЕЛЯЕМЫЕ ПРИ ГОРЕНИИ 1 КГ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Вещество	Оксид углерода			Цианистый водород		
	кг	м³ при 20 °С	м³ при 300 °С	кг	м³ при 20 °С	м³ при 300 °С
Целлюлоза (хлопок)	0,50	0,4	0,8	—	—	—
Шерсть	0,23	0,18	0,37	0,12	0,10	0,19
Нейлон	0,44	0,35	0,7	0,11	0,09	0,18
Акриловое волокно	0,3	0,24	0,47	0,26	0,21	0,42
Пенополиуретан	0,55	0,44	0,88	0,35	0,28	0,56

при нескольких экспериментальных пожарах, и отметил, что она может достигать почти 10%.

В табл. 1.8 приведены масса и объем оксида углерода и цианистого водорода, выделяющихся при горении 1 кг различных материалов. Данные табл. 1.8 следует рассматривать как приближенные, поскольку выделение этих газов при горении может зависеть от различных условий (в том числе от вентиляции). Поскольку весьма вероятно, что в пожар будет вовлечено более 1 кг горящих веществ, объем выделившихся токсичных газов может достигнуть нескольких кубических метров и, следовательно, концентрация токсичных газов, указанная в табл. 1.8, может быть быстро превышена.

1.8.1. Эффект синергизма при воздействии токсичных газов. Часто предполагают, что полный токсический эффект от воздействия смеси опасных компонентов будет больше, чем от простого сложения воздействий отдельных составляющих, однако пока еще нет данных, подтверждающих это предположение. В статье Линча [16] на основе изучения некоторых работ по данной проблеме

сделан вывод, что при вдыхании смеси угарного газа с цианистым водородом эффекта синергизма от воздействия газов не наблюдается.

1.8.2. Субъективная природа токсического эффекта. Рассмотрение токсичности некоторых продуктов горения позволяет сделать вывод, что эффект воздействия токсичных газов для некоторых людей может в значительной степени зависеть от их психического и физического состояния. С этой точки зрения имеющуюся информацию о допустимой или опасной концентрации токсичных газов нужно рассматривать с учетом физического состояния людей, а не как точные данные. Хорошо известно, что в условиях психического стресса, возникающего во время пожара, даже более низкая концентрация токсичных газов, чем указано выше, может привести к несчастному случаю или смертельному исходу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hinkley, P. L. (1971). Some notes on the control of smoke in enclosed shopping centres. Fire Research Note No. 875, Fire Research Station, Borehamwood, England.
2. Thomas, P. H. (1969). The role of flammable linings in fire spread. *Board Manufacture*, 12, 96—101.
3. Rasbash, D. J. (1967). Smoke and toxic products at fires. *Plastics Inst. Trans.*, 1, Conf. Suppl. No. 2, 55—62.
4. Robertson, A. F. (1975). Estimating smoke production from rooms and furnishings. C.I.B. Symposium on the Control of Smoke Movement in Building Fires, Building Research Establishment, Garston, England.
5. Gross, D., Loftus, J. J. and Robertson, A. F. (1967). Method for measuring smoke from burning materials. S. T. P. No. 422, 166—204. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
6. N.F.P.A. Committee on Fire Tests (1974). Tentative standard test method for smoke generated by solid materials. N. F. P. A. 258—T, National Fire Protection Association, Boston.
7. Jin T. (1970). Visibility through fire smoke. Building Research Institute, Tokyo, Report No. 30, March 1970 and Report No. 33, February 1971.
8. Malhotra, H. L. (1967). Movement of smoke on escape routes, instrumentation and effect of smoke on visibility. Fire Research Notes Nos. 651, 652 and 653. Fire Research Station, Borehamwood, England.
9. Rasbash, D. J. (1951). Efficiency of hand lamps in smoke. *Inst. Fire Engineers Quarterly*, 11, 46.
10. Edginton, J. A. G. and Lynch R. D. (1975). The acute inhalation toxicity of carbon monoxide from burning wood. Fire Research Note No. 1040, Fire Research Station, Borehamwood, England.
11. Birky, M. M., Einhorn, I. N. and Grunnett, M. L. (1973). Physiological and toxicological effects of the products of thermal decomposition from polymeric materials. Symposium: Fire Safety Research, N. B. S. Gaithersburg Md., U. S. A. Aug. 1973. U. S. National Bureau of Standards, Special publication. No. 411, pp. 105—24.
12. Bunbury, H. M. (1923). The Destructive Distillation of Wood. Benn Bros., London.
13. Woolley, W. D. and Raftery M. (1973). Toxic products of combustion of plastics. I.B.C.O. 11, 2, 24—27.
14. Butcher, E. G. (1975). Plastics and fire. An increasing risk. *Fire Engineers Journal*, 35, 98, 24.
15. Henderson, G. Y. and Haggard, H. W. (1943). Noxious Gases and the Principles of Respiration Influencing Their Action. Reinhold Publishing Corporation, New York.

16. Lynch, R. D. (1975). On the non-existence of synergism between inhaled hydrogen cyanide carbon monoxide. Fire Research Note No. 1035, Fire Research Station, Borehamwood, England.

2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЫМА И ПРОТИВОДЫМНАЯ ЗАЩИТА

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Можно привести множество примеров, иллюстрирующих быстрое распространение во время пожара дыма в вертикальном направлении внутри здания. Здесь рассматриваются три таких случая.

Первый пример — пожар в здании аэровокзала в аэропорту Орли в 1973 г. Дым и последовавшее за ним пламя проникли через отверстия и неплотности в конструкциях здания и распространились вверх. В данном случае дым прошел вместе с воздухом, циркулирующим в объеме здания, особенно в таких зонах, как, например, шахты эскалаторов, открытые лестничные клетки и т. п., которыми часто пользуются люди для входа и выхода из здания, быстро поднялся до самого верхнего уровня и сделал полностью невидимыми привычные пути эвакуации.

Второй пример — пожар в здании «Ван-Нью-Йорк-Плаза» в Нью-Йорке в 1973 г. Здесь наблюдались быстрое возникновение, нагрев и распространение дыма по скрытым пустотам и каналам, а затем — неожиданное появление дыма на 10 этажей выше уровня, где он образовался.

Третий пример — пожар в гостинице в Сеуле, Южная Корея (1971). Этот пожар аналогичен катастрофе в аэропорту Орли: дым и нагретый воздух быстро распространились вверх до самой высокой точки здания и, не имея выхода наружу, начали опускаться слоями вниз, заполнив весь объем здания.

2.2. ПОЖАР В АЭРОПОРТУ ОРЛИ

В этом примере рассматриваются разрушения в аэропорту и здании службы воздушного транспорта через несколько дней после пожара, возникшего в аэропорту Орли-южный (Париж) 3 декабря 1973 г. Данные, любезно представленные французским Национальным противопожарным центром, свидетельствуют о том, что трещины, канавы и отверстия в бетонных конструкциях здания стали причиной распространения огня, нагретого воздуха и дыма, заполнивших многоэтажное здание от фундамента до верхнего этажа (рис. 2.1).

2.2.1. Описание здания. Здание аэропорта Орли-южный общей площадью 130 тыс. м² имеет шесть наземных и два подземных этажа. Оба подвальных этажа выполнены из железобетона. Бетонные перегородки разделяют подвал на отдельные отсеки с двух сторон коридора. Группа лестниц и эскалаторов, расположенных

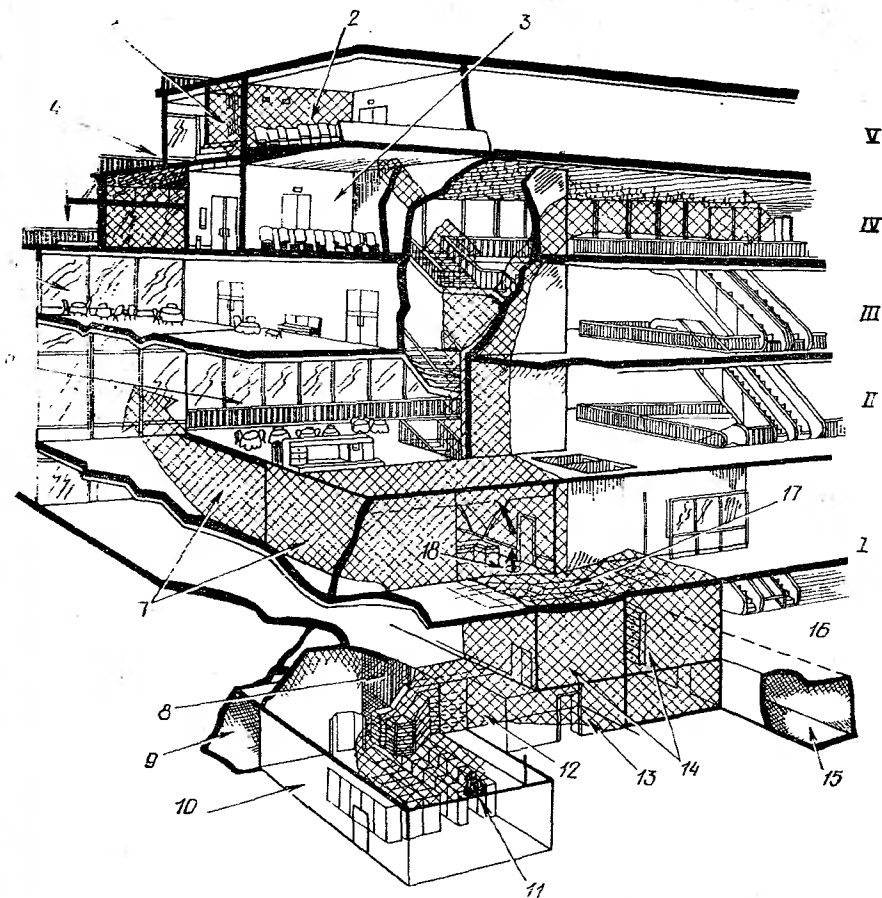


Рис. 2.1. Распространение огня при пожаре в аэропорту Орли

1 — проекционный зал; 2 — балкон; 3 — кинозал; 4 — террасы; 5 — ресторан; 6 — бар; 7 — почта, телевязь и магазины; 8 — первый подвальный этаж; 9 — коридоры; 10 — второй подвальный этаж; 11 — источник пожара; 12 — кабельный канал; 13 — склад для бара; 14 — контрольный пункт; 15 — коридор; 16 — холл; 17 — деформация пола; 18 — пневмотранспортная труба; I—V — этажи

в центральной части здания, связывает этажи между собой. В наземных этажах перегородок относительно немного. Первый подвальный этаж представляет собой огромный холл длиной 200 м.

2.2.2. Распространение огня. Пожар возник около 15 ч во втором подвальном этаже внутри низковольтной подстанции. Огонь двигался по кабелю сети обслуживания, ведущему к техническому пульту на первом подвальном этаже. Затем по открытому кабельному каналу огонь распространился в горизонтальном направлении до кладовой бара, находящейся рядом с каналом сети обслуживания, и в вертикальном направлении — до контрольного пункта на первом подвальном этаже.

Охватив подвальный этаж, огонь уничтожил все оборудование

в двух контрольных пунктах и послужил причиной серьезных повреждений арматурного каркаса в перекрытии над ними. В результате возникли деформации стен и пола, позволившие газам, а возможно, и пламени проникнуть непосредственно в помещения первого этажа.

Наличие товаров книжного магазина и оборудования комнаты покупателей и почтового отделения на первом этаже способствовало интенсификации огня, который продолжал распространяться в горизонтальном направлении. Кроме того, неогражденная лестничная клетка, ведущая с первого этажа на четвертый, позволила огню быстро проникнуть на более высокие этажи — главным образом через полость шириной более 10 см между деревянной обшивкой и стеной, которая служила газоходом для горячих газов.

Центральная группа эскалаторов представляла собой еще один путь, по которому большие порции горячих газов поступали на четвертый этаж. Огонь нагрел пластмассовые элементы подвесного потолка над эскалаторами, и горящие конструкции падали с потолка, увеличивая трудности пожарных. В результате через неогражденную лестничную клетку огонь проник в проекционную будку для показа кинофильмов на верхнем (пятом) этаже. Пожарная команда прибыла на место очень быстро после сигнала тревоги, переданного, по-видимому, автоматической системой обнаружения пожара (такая система была установлена в местах без постоянного нахождения людей). Только примерно в 20 ч после пяти часов работы в исключительно трудных условиях (из-за плохой видимости, вызванной густым дымом, и необходимости действовать в противогасах) пожарным удалось справиться с огнем. Из-за наличия вертикальных шахт оказалось невозможным ограничить вертикальное распространение огня. Предотвращение распространения огня в горизонтальном направлении было особенно трудным из-за полостей, скрытых подвесным потолком. Наличие пластиков в оболочках кабелей, декоративных элементов, фурнитуры и т. д. еще больше увеличило трудности пожарных в борьбе с огнем.

Непосредственно огнем были повреждены поверхности площадью более 6000 м²; кроме того, дым вызвал повреждения поверхности площадью 30 000 м². Ущерб от всех повреждений оценивается суммой не менее 3 млн. фунтов стерлингов. По счастливой случайности при пожаре никто не пострадал [6].

2.3. ПОЖАР В ЗДАНИИ «ВАН-НЬЮ-ЙОРК-ПЛАЗА» В НЬЮ-ЙОРКЕ

В результате пожара, который произошел в здании «Ван-Нью-Йорк-Плаза» в Нью-Йорке 5 августа 1970 г., два человека погибли, 30 человек получили ранения, а сумма убытка превысила 10 млн долл. Здание представляет собой 50-этажный административный блок, оборудованный в начале 1970 г. и лишь частично занятый служащими с временными пропусками к моменту пожара. Пожар

начался на 32-м и 33-м этажах. В связи с этим пожаром возникли некоторые вопросы относительно проектирования и использования лифтов при пожаре и обнаружилась опасность распространения огня и дыма в здании с огнестойкими конструкциями. Приведенные здесь сведения заимствованы из подробного сообщения, опубликованного Нью-Йоркским советом пожарного страхования.

2.3.1. Конструктивное решение. Здание состоит из 50 надземных этажей. Первые двадцать этажей имеют размер 87×67 м, а башенной части — примерно 87×44 м. В железобетонном центральном ядре размещены 11 лифтов, 5 лестниц, гардеробы, шахты системы кондиционирования воздуха и другие коммуникации.

Стены собраны из алюминиевых панелей с оконными секциями, колонны с наружной стороны облицованы такими же панелями. Применены бетонные стеновые блоки толщиной 0,15 и высотой 0,7 м, установленные на наружные грани плит перекрытий. Каждая стена расположена по оси стеновой колонны так, что наружная облицовка отстоит от стены на 0,4 м. Такое разделение создает вертикальный воздушный канал в нижней и башенной частях, который прерывается на уровне каждого этажа фартуком из алюминиевого сплава, предназначенным для сбора конденсата и его отвода наружу через капельницу. Внутренняя поверхность стены, пространство между окнами и поверхность над окнами изолированы обшивкой из пенополистирола толщиной 2,5 см. Эта изоляция закрыта внутри слоем сухой штукатурки. Выше подвесного потолка слой штукатурки отсутствует. В результате защита скрытого подвесным потолком пространства на двух этажах состояла из двух кусков пенистого полистирола толщиной 2,5 см и тонкого алюминиевого листа. Такой подвесной потолок с соответствующими акустическими элементами и пространством, содержащим воздуховоды, электрические кабели и проводки, не может задержать огонь.

2.3.2. Распространение дыма и огня. На 32-м этаже располагались административные кабинеты, почти полностью подготовленные к приемке персонала, а на 33-м этаже в конторских помещениях еще только устанавливали мебель. Пожар начался в пространстве над подвесным потолком на 32-м этаже по соседству или непосредственно под телефонной станцией, находящейся на 33-м этаже.

Огонь появился в замкнутом пространстве, где находилось много открытых кабелей, или в конторском помещении, расположенном рядом. Несмотря на то что дым появился в здании около 17 ч 45 мин, первый сигнал в Управление пожарной охраны Нью-Йорка поступил только в 17 ч 59 мин. Сигнал передала охрана соседнего здания. Большинство людей, находившихся в здании, были предупреждены о пожаре или видели дым, поступающий из системы кондиционирования воздуха. Они эвакуировались с помощью лифтов или спустились по лестницам.

Огонь проник через систему кондиционирования воздуха и, вероятно, распространился по облицовке из пенополистирола в на-

ружных стенах, затем языки пламени и дым появились внутри конторских помещений. Развитию пожара способствовала пенополиуретановая обивка мебели, а также наличие в конторских помещениях возгораемых предметов и оборудования. Через систему кондиционирования воздуха пламя проникло также в центральное ядро здания, где размещены шахты лифтов, лестничные клетки, коллекторы для подачи и отвода кондиционированного воздуха. Пожарная заслонка на южной стене ядра сработала, но другая на западной стене оказалась после пожара частично открытой. Подача воздуха вентиляторами была прекращена в 17 ч 50 мин после срабатывания установленной на вентиляторах системы обнаружения дыма, которая в это же время подала звуковой сигнал, а вытяжные вентиляторы работали без остановки почти до 19 ч 30 мин. Поэтому дым проник внутрь обратного воздушного коллектора через проемы на 32-м этаже и открытые отверстия в шахте. Под действием давления дым распространился по различным этажам и уплотнился настолько, что людям пришлось эвакуироваться.

На вышележащие этажи огонь проник через отверстия в полу для пропуска электрических и телефонных кабелей, через зазоры вокруг каналов системы кондиционирования воздуха в местах их пересечения с перекрытиями и через канал пневмопочты. При прохождении горячих газов и пламени через зазоры вокруг каналов системы кондиционирования воздуха происходит расплавление, а затем и воспламенение полистироловой изоляции в наружных стенах. Пожарная команда прибыла на место через 3 мин после сигнала, но за это время 32-й и 33-й этажи уже были заполнены таким количеством дыма и горячих газов, что пожарные смогли находиться там лишь короткое время. Потушить пожар удалось только через 5 ч [7].

2.4. ПОЖАР В ГОСТИНИЦЕ «ТАЕ ИОН КАК»

Во время пожара в гостинице «Тае Йон Как» (Сеул, Южная Корея) — одного из наиболее катастрофических пожаров за последние годы — погибли 163 человека и 60 человек получили ранения. В сообщении, опубликованном Национальной противопожарной ассоциацией, отмечается, что одной из причин, способствовавшей трагедии, явились особенности планировочного решения здания: по двум внутренним лестницам можно было спуститься к единственному вестибюлю на первом этаже (во время пожара этот вестибюль был разрушен), но нельзя подойти к площадкам безопасности; по лестничным клеткам и коммуникационным шахтам дым, токсичные газы и пламя распространились по всем этажам и отсекали пути эвакуации; проемы в перегородках над подвесным потолком позволили огню распространиться в горизонтальном направлении между конторской частью и гостиницей. Наконец, возгораемая отделка интерьеров также способствовала распространению пожара по всему зданию.

2.4.1. Конструкция здания. Здание имеет 21 надземный и один

подвальный этаж. Форма здания I образная, длина южной стороны (фасад здания) 49 м, длина восточной — 43 м. В вертикальном направлении здание разделено на две секции перегородкой из бетонных блоков толщиной 20 см (рис. 2.2). С западной стороны здания этажи со 2-го до 19-й были заняты конторами различных фирм. Гостиничный блок с восточной стороны здания состоял из 223 номеров, расположенных с 5-го по 19-й этаж. Зал для отдыха «Скай лаундж» на 20-м этаже занимал всю площадь над конторской и гостиничной частями. Здесь имелись две внутренние лестницы: одна — в гостиничной, а другая — в конторской секции. Два смежных вестибюля на первом этаже связаны со зданием двумя лестницами, одна из которых обслуживает все этажи гостиницы, а другая — все этажи, кроме верхнего (20-го). Вестибюли отделены друг от друга только стеклянными дверьми. Обе лестничные клетки выполнены из оштукатуренных бетонных блоков, одна лестница гостиницы оставлена открытой на уровне вестибюля и трех этажей, расположенных непосредственно над ним.

2.4.2. Возникновение пожара. В тот момент, когда около 10 ч утра вспыхнул огонь, в здании находилось примерно 200 постояльцев гостиницы, 70 чел. обслуживающего персонала и 15 конторских служащих. Поскольку было рождественское утро, многие постояльцы еще спали или только собирались вставать. Огонь возник в кофейной лавке рядом с вестибюлем гостиницы (рис. 2.3) и воспламенил сжиженный нефтяной газ, однако точные причины возникновения огня неизвестны. Сжиженный нефтяной газ в баллонах по 20 кг применялся для питания двухгорелочной плиты буфета. В то утро, когда возник пожар, запасной баллон находился рядом с баллоном, подключенным к плите. Можно предположить, что вначале вышел из строя запасной баллон и его содержимое, выйдя наружу, быстро воспламенилось или произошла утечка газа через неплотности и отверстия в фигурном клапане, в результате чего при соприкосновении с огнем произошел взрыв. Позднее нашли дно, оторванное от запасного баллона; баллон был отброшен в сторону более чем на 2 м. Силой взрыва был сдвинут наружу буфет. В кофейной лавке погибли три официанта. Один из них стоял рядом с буфетом около баллонов, два других в момент гибели сидели лицом к западной стенке. Хозяйка лавки, стоявшая с противоположной относительно баллонов стороны буфета, получила серьезные ожоги, но она и шесть служащих, находившихся в лавке, остались живы. В это время ни в лавке, ни в холле перед ней не было покупателей.

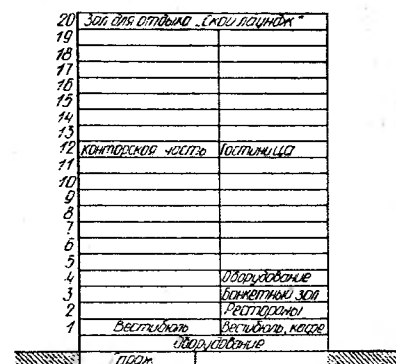


Рис. 2.2. Вертикальный разрез гостиницы «Тае Йон Как»

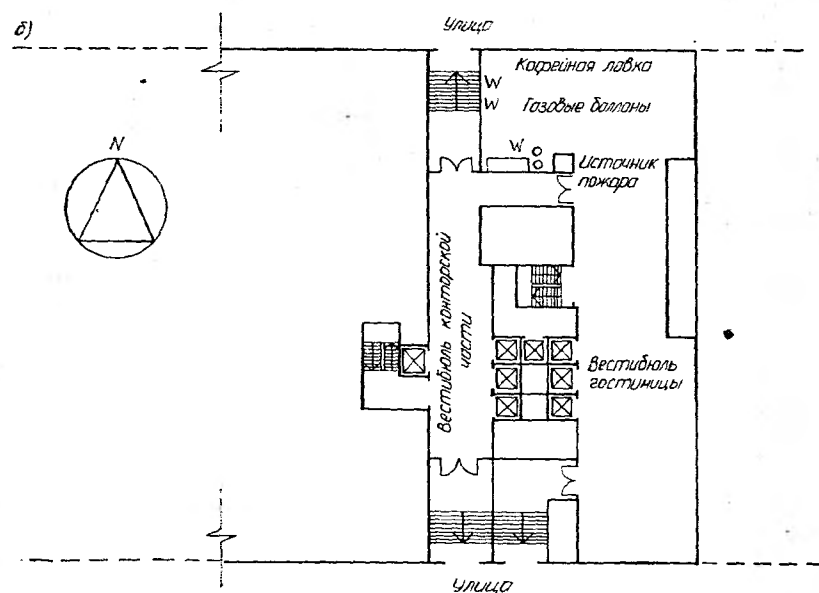
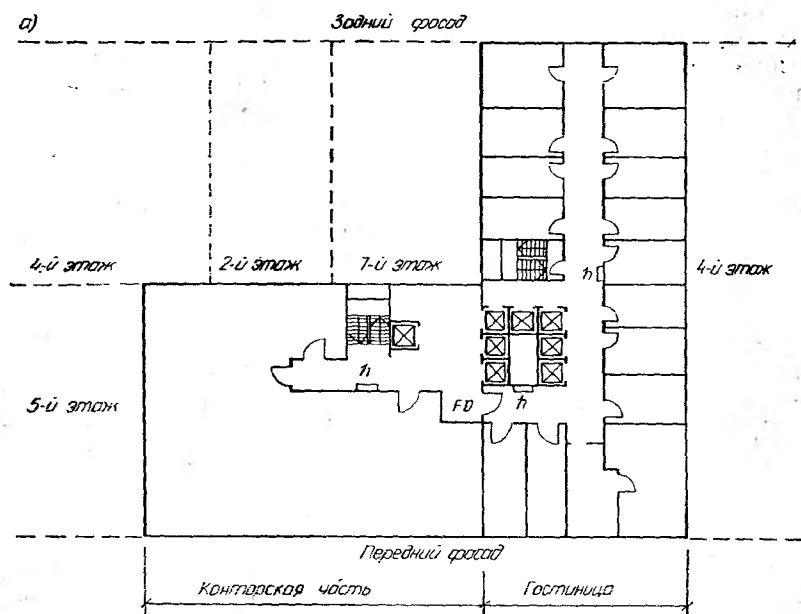


Рис. 2.3. Планы этажей гостиницы «Тае Йон Как»
а — план типового этажа (с 7-го по 19-й этаж); б — первый этаж; W — местонахождение каждого из трех официантов

Огонь моментально охватил кофейную лавку, перекинулся на стоявшие предметы интерьера вестибюля и отрезал выход с гостиной лестницы. Дым и токсичные газы заполняли здание по мере того, как огонь стремительно поднимался вверх на второй и третий этажи по открытым лестницам. На втором этаже вертикальные каналы системы отопления и шахты кондиционирования воздуха были открыты, что способствовало распространению дыма и горячих газов в конторской и гостиничной секциях.

Постояльцы гостиницы, обнаружившие запах дыма, предупредили обслуживающий персонал о пожаре. Однако, когда они попытались выйти наружу, оказалось, что коридоры и лестницы заполнены дымом и горячими газами.

2.4.3. Развитие пожара. Пожар, возникший на первом этаже, быстро перекинулся на второй и третий этажи. Затем он распространился по вертикальным шахтам и каналам и, по словам очевидцев, достиг зала для отдыха «Скай лаундж». В дальнейшем движение пожара проходило по двум направлениям: от третьего этажа вверх и от зала «Скай лаундж» вниз. Средние этажи до полудня не были охвачены пожаром. По-видимому, несущие конструкции здания оставались неповрежденными до того момента, когда большая часть площади здания была охвачена сплошным огнем (рис. 2.4). Только одна трещина была обнаружена на колонне 17-го этажа, хотя имелось несколько выбоин на колоннах, балках и плитах пола [8].

2.5. ДВИЖЕНИЕ ДЫМА

Движение дыма и горячих газов при пожаре в здании определяется двумя главными факторами:

собственной подвижностью (плавучестью) дыма, связанной с тем, что плотность горячих газов обычно ниже плотности окружающего воздуха;

циркуляцией воздуха в здании, которая не оказывает влияния на силу пожара, но может способствовать распространению дыма.

Влияние этих факторов на движение дыма зависит от местных условий и, конечно, не одинаково на различных участках внутри здания. В общем можно отметить, что вблизи огня доминирует первый фактор, а при увеличении расстояния от огня (где дым менее нагрет) возрастает влияние второго фактора.

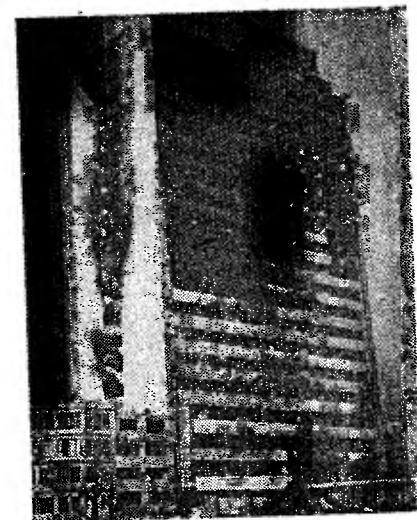


Рис. 2.4. Гостиница «Тае Йон Как» после пожара

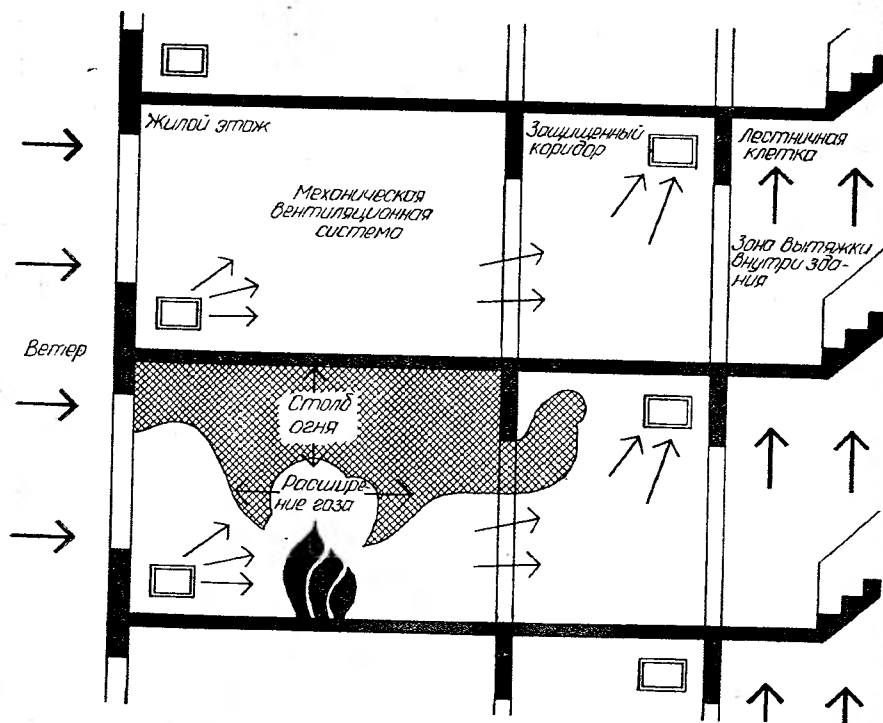


Рис. 2.5. Факторы, влияющие на движение дыма

Движение дыма из-за собственной плавучести обусловлено, во-первых, разностью давлений при расширении газов во время нагрева огнем и, во-вторых, разностью плотностей горячих газов над огнем и менее нагретого воздуха вокруг огня.

Циркуляция воздуха в здании может быть охарактеризована тремя независимыми факторами:

эффектом «дымовой трубы», при котором возникает разность давлений из-за разности температур воздуха внутри и снаружи здания; благодаря этому эффекту воздух внутри здания может двигаться вверх или вниз в зависимости от того, выше или ниже его температура по сравнению с температурой наружного воздуха;

воздействием ветра — все здания имеют большее или меньшее число щелей, через которые проникает ветер, способствуя движению воздуха внутри здания;

наличием в здании систем принудительной вентиляции.

Все факторы, влияющие на движение дыма в здании, схематично показаны на рис. 2.5.

2.6. ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИИ

Несмотря на сильное движение газов при пожаре, повышение давления воздуха относительно невелико [1]. Когда пожар про-

иснулся в здании, имеющем отверстия в ограждающих конструкциях, давление на уровне пола несколько ниже атмосферного (воздух поступает в огонь), а давление под потолком помещения превышает атмосферное. На каком-то уровне между этими крайними положениями находится зона, где давление изнутри и снаружи здания равны, — так называемая нейтральная плоскость.

На рис. 2.6 схематично показано течение воздуха внутрь, а также — наружу из горящей секции здания; можно отметить, что при открывании дверей (со стороны комнаты) воздух поступает внутрь на уровне низа двери, а дым выходит из горящего помещения в верхней части двери.

Правильность определения высоты расположения нейтральной плоскости имеет важное значение для управления потоками дыма при пожаре. Положение этой плоскости зависит главным образом от температуры газов и размеров отверстий в ограждающих конструкциях помещения. Кроме того, на положение нейтральной плоскости влияет скорость развития пожара, однако в общем случае для расчета уровня нейтральной плоскости можно применить следующее уравнение [2]:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{A_1^2}{A_2^2} \frac{T_F}{T_0} \quad (2.1)$$

где L_1 — расстояние между нейтральной плоскостью и нижним срезом самого высокого отверстия; L_2 — расстояние между нейтральной плоскостью и верхним срезом самого высокого отверстия; A_1 — площадь отверстий под нейтральной плоскостью; A_2 — площадь отверстий над нейтральной плоскостью; T_F — температура в зоне огня, К; T_0 — температура вне зоны огня, К.

Разность давлений, создающаяся при пожаре, будет зависеть от высоты столба горячих газов над огнем. (Некоторое давление, возникающее при расширении газов вследствие их нагрева под действием огня, быстро исчезает, поскольку горящее помещение не имеет замкнутого объема). Таким образом, до тех пор пока имеется доступ воздуха в здание, разность между давлением в точке над огнем и атмосферным давлением будет соответствовать разности нагрева горячего и холодного воздуха.

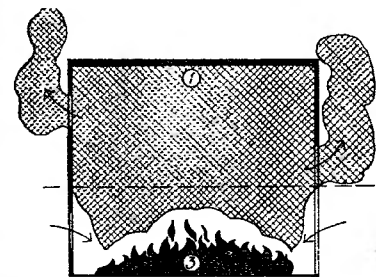


Рис. 2.6. Потоки внутрь и наружу из помещения, заполненного горячими газами
1 — высокое давление; 2 — нейтральная плоскость; 3 — низкое давление

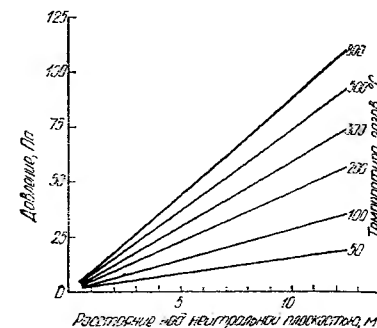


Рис. 2.7. Давление над огнем

Разность давлений, возникающая при этом, может быть получена из рис. 2.7, где дано соотношение высоты помещения над нейтральной плоскостью и температуры столба горячих газов над огнем, создающего давление [3]. Следует иметь в виду, что возможна лишь приближенная оценка возникающего давления, так как точные данные о температуре горячих газов имеются очень редко, и практически приходится исходить из температурного градиента облака дыма и горячих газов, поднимающихся над огнем.

Из рис. 2.7 видно, что избыточное давление, возникающее при пожаре в здании, очень невелико и даже в высоком помещении не превышает 100 Па, что составляет 1/1000 атмосферного давления. При нейтральной плоскости, находящейся на высоте 1 м от пола, и полностью развившемся пожаре давление у верха дверного проема (т. е. на высоте 2 м от пола) будет составлять только 5 Па.

Результаты экспериментальных измерений давления при пожарах в зданиях, проведенных несколькими исследователями [4,5], достаточно хорошо согласуются с данными, показанными на рис. 2.7. Разность давлений, возникающая внутри здания при естественной циркуляции воздуха или при применении механических вентиляционных систем, может быть сравнима по величине с разностью давлений, возникающей при пожаре. Если этот факт учтен при проектировании здания, то движением дыма и горячих газов при пожаре можно управлять различными способами, позволяющими снизить до минимума распространение огня и дыма и обеспечить безопасную эвакуацию людей.

2.7. УПРАВЛЕНИЕ ДЫМОВЫМИ ПОТОКАМИ

Как показано в гл. 1, при пожаре в здании всегда выделяется большое количество токсичного дыма с высокой плотностью; архитектор должен учитывать этот факт и понимать, что он представляет главную опасность для людей, находящихся в здании. Следовательно, при проектировании необходимо принять меры для сведения этой опасности к минимуму.

В плане здания имеются два направления, по которым должны передвигаться люди во время пожара для обеспечения своей безопасности: во-первых, движение через секцию, где возник пожар; во-вторых, движение по защищенному переходу, конструктивно отделенному от площади, охваченной огнем. Способы противодымной защиты в каждом случае различны.

В первом случае, т. е. в непосредственной близости от огня, неизбежно выделяется очень большое количество густого дыма, и контрольные измерения дают возможность только оценить степень его распространения по горизонтали и толщину слоя, позволяющую людям безопасно передвигаться в свободном от дыма пространстве. Конечно, следует стремиться к тому, чтобы расстояние, которое необходимо пройти в таких условиях, было ограниченным.

Во втором случае, т. е. в тех зонах здания, которые конструктивно отделены от площади, охваченной огнем (коридоры, вестибюли, лестницы), вообще не должно быть дыма, ограничивающего перемещение людей, и безопасное движение людей через эти зоны должно обеспечиваться в течение относительно длительного периода (т. е. на протяжении всех стадий пожара).

Следовательно, система противодымной защиты в рассматриваемых зонах должна гарантировать полное отсутствие дыма или допускать его проникание в столь незначительном количестве, которое не опасно в отношении снижения видимости или токсического воздействия.

В очень больших зданиях со сложной планировкой или в комплексах зданий пути эвакуации невозможно точно отнести к одной из двух групп, описанных выше, однако часть эвакуационных путей, которые должны быть пригодны к пропуску большого числа людей в течение достаточно длительного периода, исходя из функционального назначения зданий не может конструктивно быть полностью изолирована от воздействия пожара. Примером такой ситуации может служить пешеходный переход в закрытом торговом центре. Система противодымной защиты в этом случае требует специального рассмотрения.

С учетом различных требований и условий, предъявляемых к проектированию отдельных частей зданий, способы и принципы противодымной защиты могут быть разделены на следующие три группы:

1) удаление дыма из горящего помещения (естественная или принудительная вентиляция, см. гл. 3);

2) противодымная защита путей эвакуации, которые не имеют полной конструктивной изолированности от площади пожара (например, пешеходный переход в закрытом торговом центре, см. гл. 4);

3) противодымная защита изолированных путей эвакуации (например, при создании избыточного давления, см. гл. 5).

При некоторых пожарах количество выделяющегося дыма в значительной степени зависит от размеров пожара, и эти размеры должны задаваться при проектировании систем противодымной защиты. Можно предложить следующие рекомендации по назначению размера пожара при проектировании систем противодымной защиты применительно к трем группам, указанным выше.

1. При проектировании системы удаления дыма и назначении площади вентиляционных отверстий следует исходить из максимальной площади пожара. Здесь должны выполняться следующие требования:

а) размеры возможного пожара должны быть ограничены установкой спринклерной системы;

б) горючие материалы, находящиеся на возможной площади пожара, должны быть разделены на секции ограниченных размеров и иметь между секциями отдельные проходы соответствующей ширины, что позволяет считать размеры пожара ограниченными;

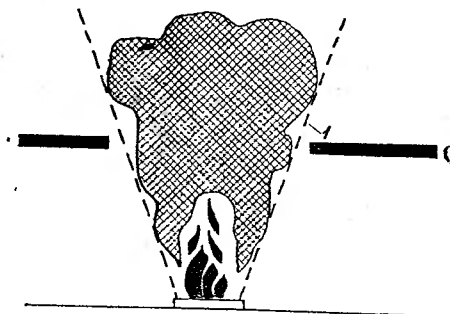


Рис. 3.1. Поток горячих газов, проходящих через большое вентиляционное отверстие
1 — приближенная граница восходящего потока

нии системы вентиляционных отверстий в крыше стремятся к тому, чтобы количество дыма, выделившегося при пожаре, и скорость движения слоя дыма были сбалансированы с количеством дыма, которое может быть удалено через вентиляционные отверстия без увеличения толщины слоя дыма; максимальная толщина слоя дыма должна быть задана при расчете и конструировании «резервуаров дыма» под потолком.

3.2.2. Определение расчетных размеров пожара. Наибольшая трудность при проектировании системы вентиляционных отверстий в крыше (или системы удаления дыма) заключается в том, что для проведения расчетов необходимо задавать соответствующие размеры пожара. Наиболее удовлетворительным путем решения этой проблемы является устройство sprinkлерной системы. Результаты работы sprinkлерного оборудования позволяют с уверенностью сказать, что пожар будет ограничен в размерах, а его точные размеры будут зависеть от расстояния до sprinkлерных головок; в большинстве расчетов по удалению дыма из зданий, оборудованных sprinkлерными установками, размеры пожара принимают равными 3×3 м. В то же время можно доказать, что система вентиляционных отверстий в крыше (или система удаления дыма) должна быть способна самостоятельно ограничить распространение пожара до тех пор, пока не будут приняты меры по его тушению без дополнительных расходов на sprinkлерное оборудование.

Вентиляционные отверстия в крыше будут ограничивать распространение пожара, так как они ограничивают скопление горячих газов под крышей. С другой стороны, если в большинстве случаев развитие пожара вызвано распространением огня во все стороны на уровне пола в связи с наличием легковоспламеняемого материала, вентиляционные отверстия не смогут предотвратить распространение огня, а только ослабят боковое движение под потолком, ограничивая интенсивность теплового излучения вниз, кото-

щадью во все стороны, если нет препятствий, и толщина его увеличивается по мере развития пожара.

Возрастание толщины слоя дыма приводит к двум результатам: во-первых, повышается давление газов, которые должны быть удалены через вентиляционные отверстия; во-вторых, свободное пространство над огнем уменьшается и, таким образом, снижается доля поступающего воздуха (см. гл. 1), что в свою очередь приводит к ограничению распространения огня. При проектирова-

ние является лишь одним из факторов, влияющим на боковое распространение пожара.

Размер пожара при разработке проекта может быть задан на основе следующих соображений:

а) если в здании установлена sprinkлерная система, то размер пожара принимают равным 3×3 м (расстояние между sprinkлерными головками не должно сильно отличаться от указанных размеров);

б) если в здании нет sprinkлерного оборудования, а горючие материалы на этажах, занятых под магазины или предприятия, находятся в отдельных секциях с зазором между ними, то размеры пожара не должны приниматься меньшими, чем максимальные размеры изолированного штабеля горючих материалов (например, штабель упаковочных ящиков, груда применяемых материалов или запасных частей, отдельный аппарат или танк с воспламеняющейся жидкостью);

в) если границы пожара не могут быть установлены в соответствии с п. «б», то необходимо оценивать размеры пожара, которые могут быть достигнуты, прежде, чем будут приняты эффективные меры по его тушению. Такую оценку сделать очень трудно; она будет зависеть от скорости распространения огня, размеров пожара в момент его обнаружения и длительности интервала до прибытия пожарной команды. Два из этих трех факторов могут быть установлены с достаточной точностью. Если установлены автоматические датчики оповещения, то можно определить размер пожара в момент обнаружения и приблизительно рассчитать время прибытия пожарной команды. Скорость распространения пожара значительно возрастет при сплошном огне в зависимости от свойств и расположения горючих материалов в здании;

г) если трудно оценить размеры пожара на основе факторов, указанных в п. «в», то можно принять приближенное решение. При этом необходимо определить допустимую минимальную высоту незадымленного слоя над уровнем основания и оценить размеры пожара, которые могут быть приняты во внимание при разработке системы вентиляционных отверстий в крыше. Окончательное решение может быть принято после выбора конструкции вентиляционной системы. В связи с этим минимальная допустимая высота незадымленного слоя должна быть равна 2 м или расстоянию до верха какого-либо проема, ведущего в соседнее помещение.

3.2.3. Проектирование с учетом малого пожара. Малым считается пожар, площадь которого составляет лишь небольшую часть площади здания и у которого высота пламени невелика по сравнению с высотой здания.

Таковыми характеристиками обладает почти каждый пожар в начальной стадии до момента его обнаружения и приведения в действие какой-либо автоматической противопожарной системы (например, открывание вентиляционных отверстий, включение sprinkлеров, срабатывание сигнала тревоги и др.).

Горячие продукты горения будут подниматься вверх, вовлекая холодный воздух в этот восходящий поток. При коротком пламени в восходящем потоке не будет выделяться дополнительного тепла и температура газов будет снижаться благодаря поступлению воздуха, масса которого часто превышает массу газов, выделившихся при пожаре. Восходящие газы достигают потолка и при отсутствии вентиляционных отверстий распространяются в стороны, образуя под потолком слой, граничащий со слоем холодного чистого воздуха, находящимся под ним; эти слои медленно смешиваются друг с другом, но слой дыма будет становиться все более толстым, пока не заполнит все здание.

Поскольку размеры пожара невелики, можно предотвратить заполнение здания дымом, открыв все или большинство вентиляционных отверстий в крыше (непосредственно над огнем) на полное сечение, чтобы горячие газы беспрепятственно смогли выйти через эти отверстия прямо в атмосферу (см. рис. 3.1).

Данные, опубликованные в работе [3], показывают, что если высота пламени в месте пожара очень мала по сравнению с высотой здания, то свыше 90 % горячих газов будут удаляться наружу прямо через вентиляционное отверстие, диаметр которого равен $\frac{1}{3}$ высоты здания, независимо от количества выделяемого тепла. Таким образом, при малом пожаре в здании высотой 6 м для прямого удаления горячих газов в атмосферу будет требоваться отверстие размером не менее 2×2 м непосредственно над огнем, а при большом пожаре, даже если горение протекает медленно, будет требоваться значительно большая площадь вентиляционных отверстий.

Ясно, что практическая возможность применения вентиляционных отверстий ограничивается двумя факторами: во-первых, отверстия слишком велики, чтобы быть экономичными; во-вторых, поскольку место возникновения пожара неизвестно, вентиляционные отверстия не могут всегда находиться непосредственно над огнем.

Поэтому при проектировании принимают, что слой дыма и горячих газов будет скапливаться под потолком. Однако при этом возрастает выпуск дыма через вентиляционные отверстия, поскольку при развитии слоя создается давление, способствующее выбросу дыма в атмосферу; в то же время доля выделения дыма сокращается в связи с уменьшением высоты незадымленного слоя над огнем (рис. 3.2). Стадия равновесия будет достигнута в тот момент, когда количество удаляемого дыма будет равно количеству выделяющегося дыма; этот принцип кладут в основу проектирования системы вентиляционных отверстий в крыше. Здесь предполагается, что холодный воздух может поступать в здание на уровне пола вместо выбрасываемых наружу горячих газов, и если отверстия, предусмотренные для этой цели, недостаточно велики, то площадь вентиляционных отверстий в крыше не будет полностью использована.

Номограммы 3.3 и 3.4 [2] позволяют рассчитать необходимую

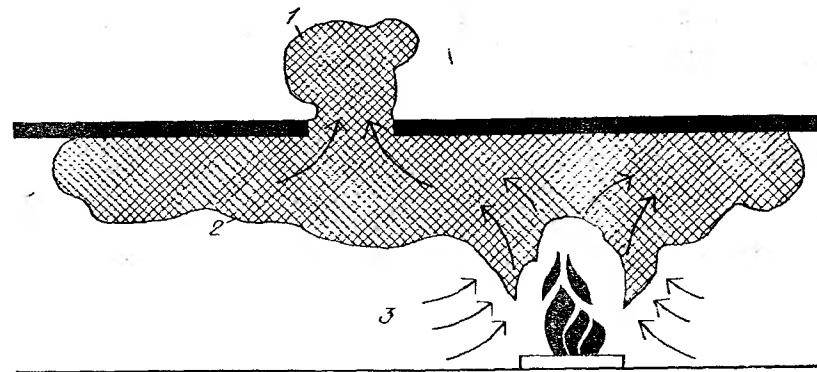


Рис. 3.2. Образование слоя горячих газов

1 — поток горячих газов, выходящих в атмосферу через вентиляционное отверстие; 2 — слой горячих газов; 3 — поступление воздуха в восходящий поток газов

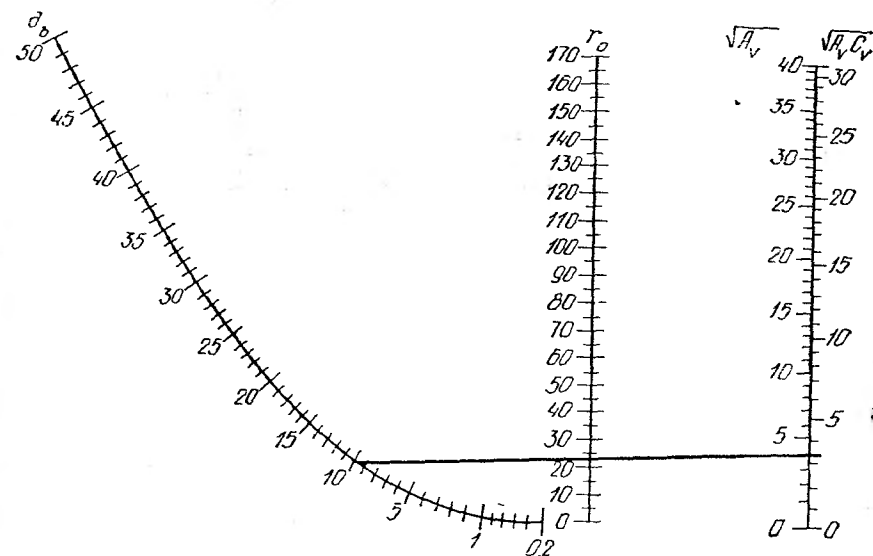


Рис. 3.3. Вентиляционные отверстия при малом пожаре

d_b — расчетная толщина слоя горячих газов; r_0 — расстояние от расчетного точечного источника пожара до центра вентиляционного отверстия; $\sqrt{A_v}$ — квадратный корень из геометрической свободной площади вентиляционных отверстий; $\sqrt{A_v C_v}$ — квадратный корень из аэродинамической свободной площади вентиляционных отверстий

площадь вентиляционных отверстий для выпуска наружу горячих газов, выделяемых при малом пожаре (здесь принят пожар, диаметр которого меньше половины высоты слоя воздуха без дыма над полом). При применении номограммы 3.3, где пожар рассматривается как точечный источник тепла, для реальных пожаров, которые обычно слишком велики и не могут считаться точеч-

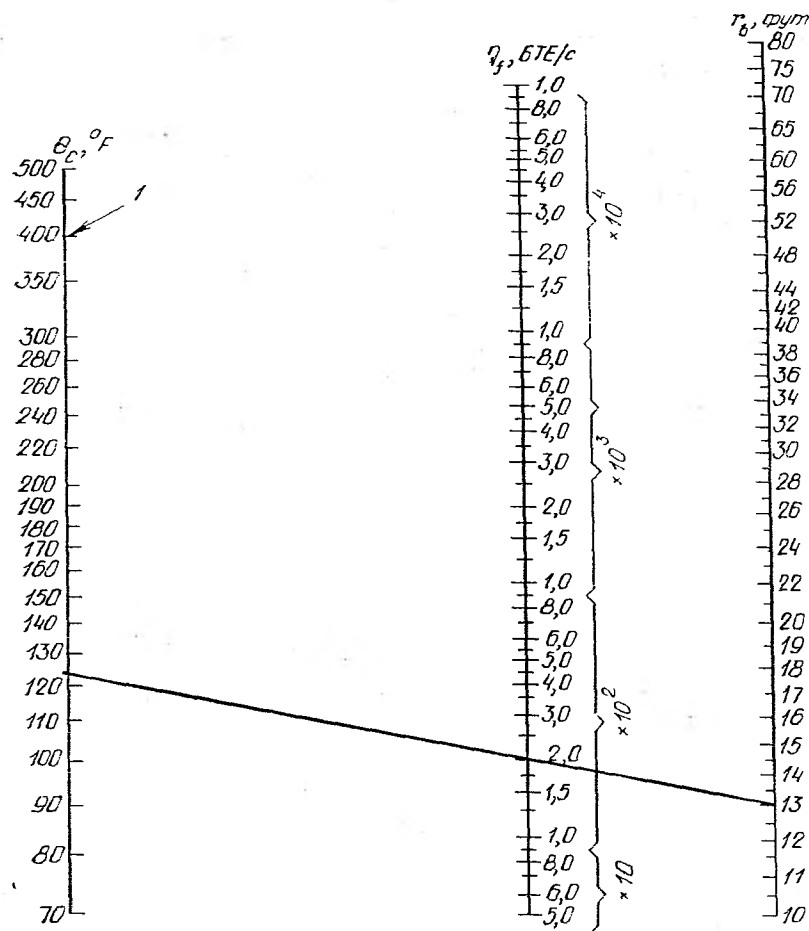


Рис. 3.4. Температура слоя горячих газов (малый пожар)

θ_c — температура слоя горячих газов; Q_f — теплота, выделяющаяся при пожаре; $r_b = = h_c + 1,5 \sqrt{A_f d_b}$ — расстояние от расчетного точечного источника до нижней поверхности слоя горячих газов; l — максимальная температура, при которой целлюлозные материалы не воспламеняются при небольшом пламени: перевод единиц в СИ: $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)5/9$; $\text{МДж/с} = = (\text{БТЕ/с})1,055 \cdot 10^{-3}$; $m = 0,305$ фута

ными, определяется положение условного, расположенного ниже уровня пола эквивалентного точечного источника в зависимости от размеров пожара (рис. 3.5). Расстояние от уровня пола до этого воображаемого точечного источника определяется следующим образом:

$$d = 1,5 \sqrt{A_f},$$

где d — расстояние до воображаемого точечного источника пожара; A_f — площадь пожара.

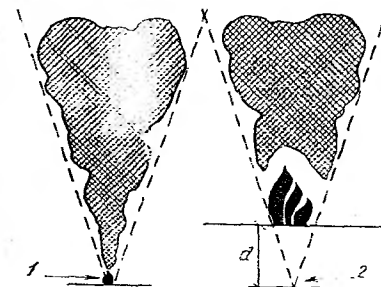


Рис. 3.5. Точечный источник, эквивалентный очень малому пожару; расположен в месте пересечения границ распространения струи горячих газов

1 — очень малый пожар; 2 — эквивалентный точечный источник

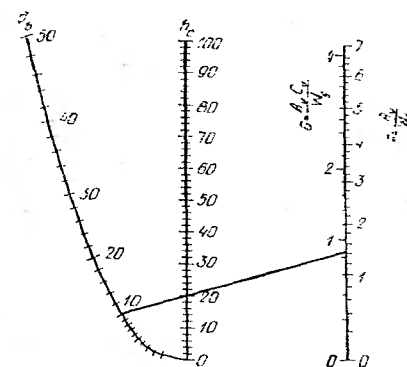


Рис. 3.6. Дымоудаление при большом, но не полностью развившемся пожаре

h_c — расчетная высота от пола до потолка; G — отношение аэродинамической свободной площади вентиляционных отверстий $A_v C_v$ к периметру пожара ω_f ; F — отношение геометрической свободной площади вентиляционных отверстий A_v к периметру пожара ω_f

При применении номограммы 3.3 действительная высота здания заменяется условной, измеренной от воображаемого точечного источника пожара.

3.2.4. Проектирование с учетом большого, но не полностью развившегося пожара. Если малый пожар, рассмотренный в предыдущем разделе, растет, то увеличивается площадь, охваченная огнем, и удлиняются языки пламени, которые могут достичь потолка. Такой пожар уже нельзя рассматривать как точечный источник тепла. Описанное выше формирование слоя дыма под потолком сохраняется и для рассматриваемого случая, но теория выделения дыма здесь основана на расчете поступления воздуха внутрь пламени. Такие расчеты применимы ко всем пожарам (даже большого размера), и номограмма 3.6 позволяет рассчитать требуемую площадь вентиляционных отверстий.

Однако применение этого способа ограничено верхним пределом абсолютных размеров пожара. Такие условия возникают, когда площадь вертикальных отверстий¹ в границах пламени, по которым воздух попадает внутрь здания, становится очень малой по сравнению с площадью, занятой огнем. Здесь рассматриваются пожары, не охватившие все здание, отсек или секцию целиком, но

имеющие возможность распространиться на всю площадь пола в секции (если эта секция изолирована).

3.2.5. Проектирование с учетом полностью развившегося пожара. Когда здание или его часть полностью охвачены пожаром, применение вентиляционных отверстий не может обеспечить сохранения незадымленного слоя воздуха, позволяющего персоналу вступить в борьбу с огнем или спастись. Такие отверстия могут приме-

¹ Это площадь приточных отверстий на нижнем уровне здания, полностью охваченного огнем, иначе говоря, высота незадымленного слоя, умноженная на периметр пожара.

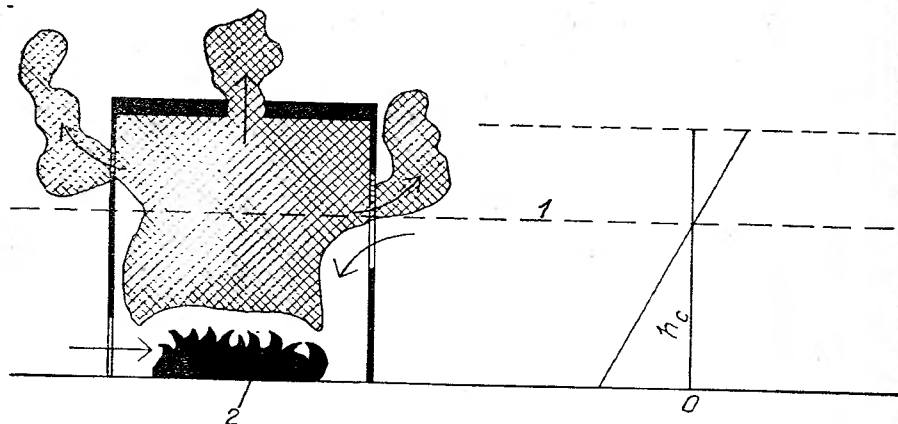
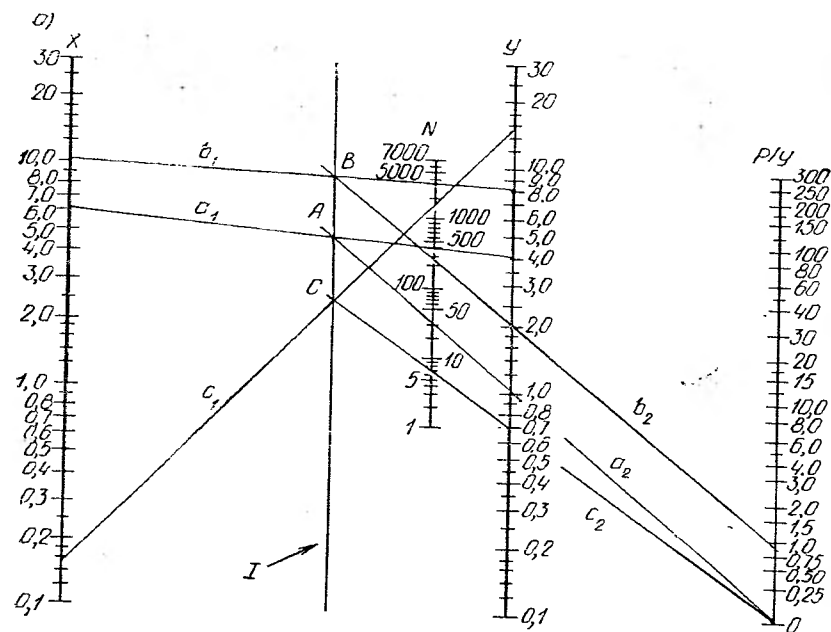


Рис. 3.7. Схема распределения давления в здании с небольшими отверстиями в ограждающих конструкциях
1 — нейтральная плоскость; 2 — здание охвачено пожаром



няться лишь для гарантии, что поступление воздуха внутрь здания осуществляется через все проемы в стенах, а выход пламени и горячих газов наружу — только через вентиляционные отверстия. Джокей [4] разработал теорию, которая применима к пожарам такого размера.

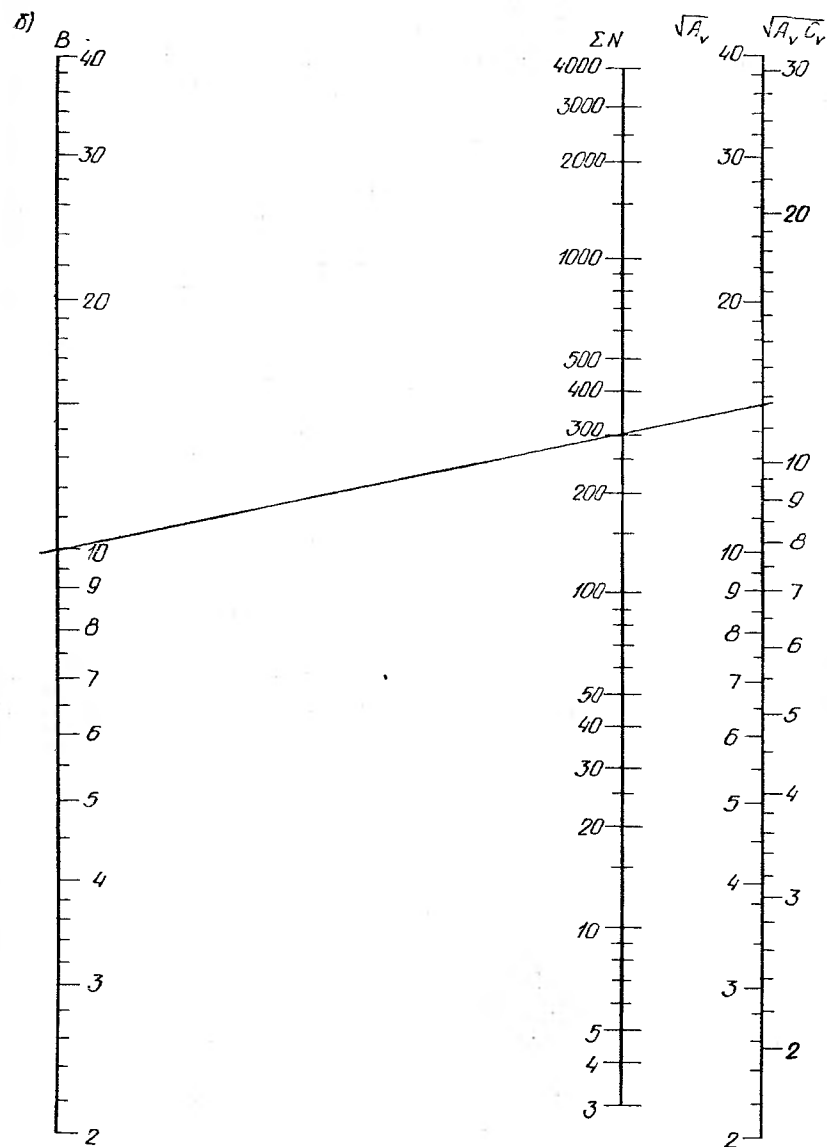


Рис. 3.8. Дымоудаление при полностью развившемся пожаре
X — ширина отверстия; Y — высота отверстия; N — характеристический параметр; P/Y — коэффициент, определяющий положение отверстия; B — высота вытяжки; I — переносная линия

В здании, полностью охваченном огнем, давление распределяется по линии, показанной на идеализированной схеме (рис. 3.7). Давление вблизи основания ниже атмосферного, поэтому воздух будет поступать внутрь здания, а давление вблизи потолка выше атмосферного, вследствие чего дым и пламя будут стремиться вый-

ти наружу. Где-то между этими граничными значениями давление в горящем здании будет равно атмосферному, и, следовательно, на этом уровне не будет ни притока воздуха, ни истечения дыма (см. рис. 3.7).

При открывании вентиляционных отверстий в крыше уровень нейтральной плоскости будет повышаться, а при открывании отверстий внизу у пола — понижаться. Изложенные принципы проектирования дают гарантию, что при правильном назначении размеров вентиляционных отверстий и наличии отверстий в уровне пола ни пламя, ни горячие газы не попадут в соседнюю часть здания через проемы в огнестойких перегородках, разделяющих здание на небольшие секции.

Номограммы 3.8 позволяют рассчитать площадь вентиляционных отверстий, требуемую для этих целей, причем важно учесть все отверстия на уровне пола (включая щели в ограждающих конструкциях), которые ведут в вентилируемое помещение, а не только связывающие с соседним помещением.

3.3. НОМОГРАММЫ

3.3.1. Применение номограмм. При применении номограмм пользуются следующими характеристиками.

Центр вентиляционных отверстий. Геометрический центр находится на верхней плоскости вентиляционного отверстия. Лопастные или аэродинамические вентиляторы могут иметь центр в той же самой точке.

Информация о вентиляторах должна быть получена у поставщика.

Нижняя поверхность слоя горячих газов считается сплошной — с одинаковой температурой во всех точках. В некоторых случаях нижняя поверхность слоя может быть не плоской, однако при этом ее можно заменить условной средней плоскостью без сколь угодно заметных ошибок.

Расчетная высота потолка h_c — расстояние от пола до центра вентиляционного отверстия.

Расчетная толщина слоя горячих газов d_b — расстояние между центром вентиляционного отверстия и нижней поверхностью слоя дыма. Обычно это расстояние равно расчетной высоте перегородки резервуара, применяемого для ограничения бокового распространения слоя дыма, или ограничено требуемой высотой незадымленного слоя над полом.

Расчетная высота перегородки резервуара под потолком — расстояние между центром вентиляционного отверстия и нижним краем перегородки.

Коэффициент расхода C_v — отношение фактического расхода газов через отверстие, равное вентиляционному, к теоретическому расходу.

ТАБЛИЦА 3.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НОМОГРАММ

Вид пожара	Характеристика размеров пожара	Условия поступления холодного воздуха	№ рисунка
Малый пожар	Средний диаметр пожара меньше половины высоты незадымленного слоя	Площадь поступления ² больше половины площади пожара	3.3; 3.4
Большой, но не полностью развившийся пожар	Средний диаметр пожара больше высоты незадымленного слоя	То же	3.6
Полностью развившийся пожар	Полностью заполнено дымом все здание или его отсеки — нет незадымленного слоя	Полная площадь отверстий на уровне пола меньше $1/20$ площади пожара	3.8

² Номограммы имеют шкалы с единицами геометрической и аэродинамической площадей (коэффициент расхода принят равным 0,6). Аэродинамическая свободная площадь иногда удобнее для применения на практике.

³ Площадь поступления воздуха к огню (при не полностью развившемся пожаре в здании или отсеке) определяется периметром пожара и высотой незадымленного слоя.

Геометрическая свободная площадь вентиляционного отверстия A_v — площадь полностью открытого вентиляционного отверстия.

Аэродинамическая свободная площадь вентиляционного отверстия $A_v C_v$ — результат умножения геометрической свободной площади на коэффициент расхода.

Расчетный точечный источник малого пожара. Малый пожар, близкий по форме к квадрату или кругу, при расчетах можно заменить точечным источником, находящимся на расстоянии d ниже основания пожара:

$$d = 1,5 \sqrt{A_f},$$

где A_f — площадь пожара.

Значение d может быть завышено по сравнению со значением при реальном пожаре, что приводит к появлению излишней площади вентиляционных отверстий. Однако при этом ошибка будет не большой.

Периметр пожара W_f — расстояние по контуру в основании пожара, имеющего форму, близкую к квадрату или кругу.

Условия пожара, соответствующие каждой номограмме, уже рассматривались выше, но для удобства сведены в табл. 3.1.

Номограмма 3.9. Соотношения, показанные на этой номограмме, характерны для стадии развития пожара, следовательно, они подходят для малого и большого, но не полностью развившегося пожара.

3.3.2. Номограмма 3.3 — вентиляционные отверстия при малом пожаре. Номограмма позволяет рассчитать площадь вентиляционных отверстий при малом пожаре. Дается соотношение между следующими параметрами (рис. 3.10):

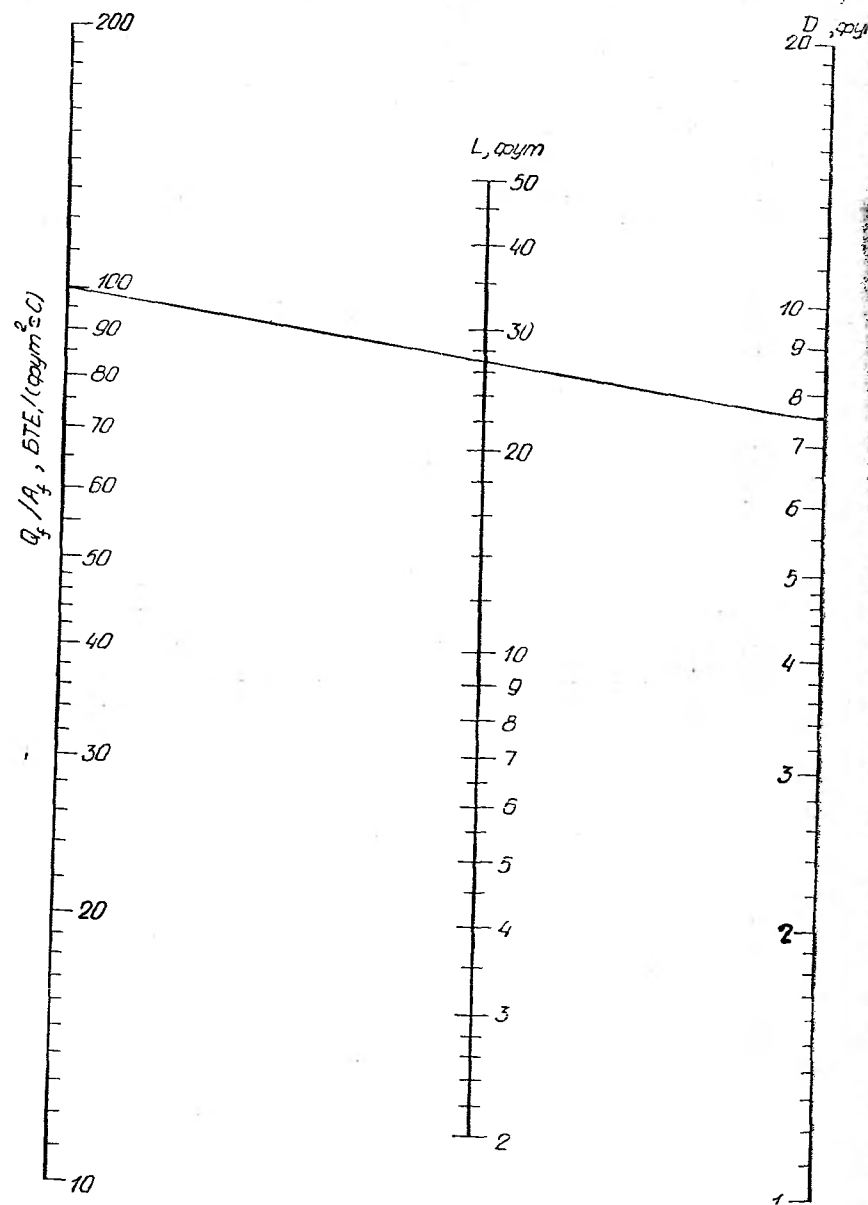


Рис. 3.9. Высота пламени при горении древесины Q_f/A_f — конвективная теплота, выделяемая при пожаре; L — высота пламени; D — средний диаметр пожара

1) расчетной толщиной горячих газов под потолком или крышей (т. е. расстоянием от нижней поверхности слоя горячих газов до центра вентиляционного отверстия);

2) расстоянием от воображаемой точки возникновения пожара до центра вентиляционного отверстия; это расстояние равно:

$$h_c + 1,5 \sqrt{A_f}$$

где h_c — расстояние от пола до центра вентиляционного отверстия; A_f — площадь пожара на уровне пола;

3) квадратным корнем из геометрической свободной площади вентиляционного отверстия ($\sqrt{A_v}$).

Таким образом, если известны два первых параметра, то можно определить требуемую площадь вентиляционных отверстий; если известны первый и третий параметры, то можно рассчитать размеры наибольшего пожара, соответствующего этим факторам при заданной высоте от пола до центра вентиляционного отверстия, а если известны второй и третий параметры, то можно определить конечную толщину слоя дыма.

Если на номограммах не указаны единицы измерения, то можно применять любые, но одинаковые для всех шкал единицы.

3.3.3. Номограмма 3.4 — температура слоя горячих газов (малый пожар). По этой номограмме можно оценить температуру слоя горячих газов, образующегося под крышей или потолком. При этом определяется соотношение между расстоянием от условной точки возникновения пожара до нижней поверхности слоя горячих газов, нагревом продуктов пожара и температурой горячего слоя.

Нагрев продуктов горения. Применение номограммы 3.4 для определения температуры слоя горячих газов требует знания количества тепла, отданного им. Обычно эта величина составляет $1/4$ общего количества тепла, поскольку $1/4$ рассеивается за счет излучения. Точно оценить соотношение между передачей тепла за счет конвекции и за счет излучения очень трудно. При равномерном протекании процесса горения (или медленном распространении огня) степень сгорания на единицу поверхности топлива зависит от свойств топлива, его концентрации, массы, соотношения горючих компонентов и в некоторой степени — от формы, размеров и свойств ограждающих конструкций.

В табл. 3.2 приведены некоторые типичные значения скорости горения на единицу площади поверхности топлива, которые должны рассматриваться только как приближенные. Однако они

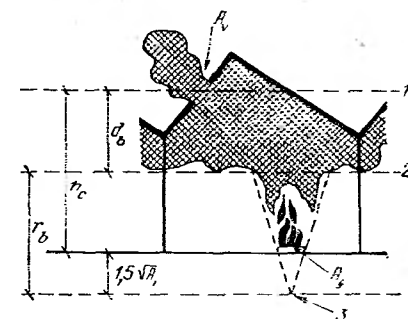


Рис. 3.10. Обозначения, принятые для номограммы 3.3

A_v — геометрическая свободная площадь вентиляционного отверстия; A_f — площадь пожара; 1 — горизонтальная плоскость, проходящая через центр вентиляционного отверстия; 2 — нижняя поверхность слоя горячих газов; 3 — расчетный точечный источник пожара

ТАБЛИЦА 3.2. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА, ВЫДЕЛЯЕМОЕ НЕКОТОРЫМИ ВИДАМИ ТОПЛИВА

Материал	Удельное количество теплоты, МДж/кг	Скорость горения на единицу поверхности топлива, кг/(м ² ·с)	Количество тепла, выделяемое единицей поверхности топлива, МДж/(м ² ·с)
Древесина (данные также подходят для изоляции из фибрового картона, твердого картона и аналогичных целлюлозных материалов) ^{1,2}	18,6	$8,54 \cdot 10^{-3}$	0,16
Бензин ³	46,5	$34,2 \cdot 10^{-3}$	1,6
Промышленный метиловый спирт ⁴	27,9	$26,8 \cdot 10^{-3}$	0,74
Жидкое нефтяное топливо ⁵	41,9	$34,2 \cdot 10^{-3}$	1,5

¹ Удельное количество теплоты при полном сгорании твердой и мягкой древесины.
² Скорость горения древесины в маленькой, хорошо вентилируемой комнате. При ограниченной вентиляции принимается скорость горения, равная $1/5$ массовой скорости воздуха.

³ Максимальная скорость горения на поддоне диаметром 45,7 см.

⁴ Средняя скорость горения на поддоне диаметром 42,6 см.

⁵ Средняя скорость горения в глубоком резервуаре диаметром 274,3 см

позволяют с достаточной точностью оценить количество тепла, отдаваемого продуктам горения, что необходимо для применения номограммы 3.4.

Примеры расчетов с применением номограмм 3.3 и 3.4.

1. Определение требуемой полной площади вентиляционных отверстий A_v , обеспечивающих заданную толщину слоя горячих газов d_b . Для выполнения этого расчета должны быть известны следующие данные: d_b — расчетная толщина слоя горячих газов; A_f — площадь пожара; h_c — расчетная высота от пола до потолка.

Расстояние между расчетным точечным источником тепла и потолком вычисляют из уравнения

$$r_c = h_c + 1,5 \sqrt{A_f}.$$

Это соотношение отражено в номограмме 3.3, где по r_c и d_b определяют $\sqrt{A_v}$, а затем A_v .

2. Определение наибольших размеров пожара, при которых слой горячих газов под потолком будет ограничен заданной толщиной. Для проведения этого расчета должны быть известны d_b , h_c и A_v .

С помощью номограммы 3.3 находят значение r_c по известным h_c и d_b . Расчет площади пожара производят по уравнению

$$A_f = \left(\frac{r_c - h_c}{1,5} \right)^2.$$

3. Определение температуры слоя горячих газов. Для проведения этого расчета должны быть заданы или определены сле-

дующие данные: d_b , A_v , A_f , h_c и Q_f — количество тепла, отданного продуктам горения (см. табл. 3.2).

Сначала вычисляют расстояние до эффективного точечного источника нагрева:

$$r_c = h_c + 1,5 \sqrt{A_f}.$$

Если значение d_b неизвестно, то его определяют с помощью номограммы 3.3 по r_c и $\sqrt{A_v}$.

Далее находят расстояние между расчетным источником и нижней поверхностью слоя горячих газов r_b :

$$r_b = r_c - d_b.$$

По найденным значениям r_b и Q_f с помощью номограммы 3.4 находим температуру горячих газов θ_c .

4. Определение полной площади вентиляционных отверстий, требуемой для ограничения температуры слоя горячих газов. Для выполнения этого расчета должны быть известны следующие данные: θ_c — заданная температура слоя горячих газов, A_f , Q_f , h_c .

По известным значениям θ_c и Q_f с помощью номограммы 3.4 находим r_b (расстояние от расчетного точечного источника до нижней поверхности слоя горячих газов). Для расчета используются соотношения:

$$d_b = 1,5 \sqrt{A_f} + h_c - r_b;$$

$$r_c = 1,5 \sqrt{A_f} + h_c.$$

Если в этом расчете величина d_b получается отрицательной, то требуемая температура слоя горячих газов θ_c с помощью вентиляционных отверстий в крыше не может быть обеспечена.

Далее по найденным выше значениям r_c и r_b с помощью номограммы 3.3 определяют $\sqrt{A_v}$.

3.3.4. Номограмма 3.6 — вентилирование при большом, но не полностью развившемся пожаре. Эта номограмма определяет соотношение между следующими параметрами (рис. 3.11): расчетной высотой от пола до потолка (измеренной по центру вентиляционных отверстий) h_c (в футах), расчетной толщиной слоя горячих газов (измеренной до центра вентиляционных отверстий) d_b (в футах) и значениями F или G , где

$$F = A_v / w_f;$$

$$G = A_v C_v / w_f$$

(w_f — периметр пожара).

Применение номограммы 3.6 позволяет провести следующие расчеты.

1. Определение полной площади вентиляционных отверстий на основе сохранения заданной толщины слоя горячих газов. Для проведения такого расчета должны быть известны d_b , w_f и h_c . По известным значениям d_b и h_c с помощью этой номограммы

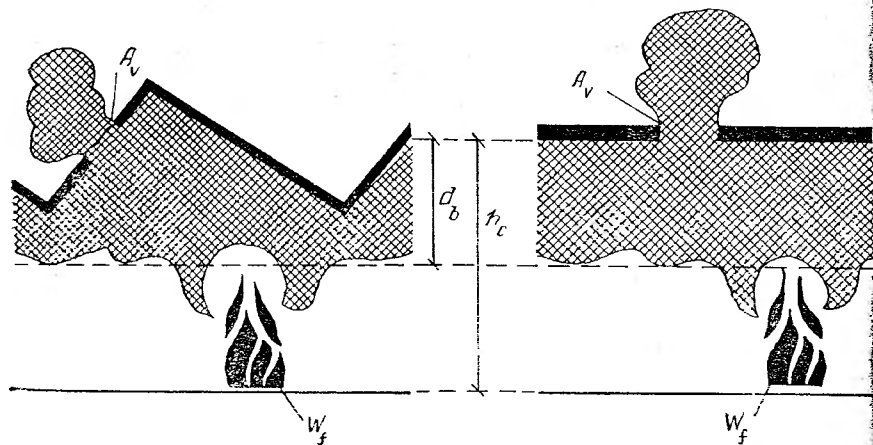


Рис. 3.11. Обозначения, принятые для номограммы 3.6

A_v — геометрическая свободная площадь вентиляционных отверстий; w_f — периметр пожара

определяют величину F , а затем рассчитывают площадь вентиляционных отверстий: $A_v = F w_f$.

2. Определение наибольших размеров пожара, при которых толщина слоя горячих газов под потолком будет ограничена заданной величиной, на основе заданной площади вентиляционных отверстий. Для проведения такого расчета должны быть известны d_b , A_v и h_c . По известным значениям h_c и d_b с помощью номограммы 3.6 определяют соотношения F .

Затем рассчитывают периметр пожара $w_f = A_v / F$ и его размеры. Длина стороны квадрата, охваченного пожаром, будет равна $w_f / 4$, а радиус круга равен $w_f / 2\pi$.

3.3.5. Номограммы 3.8 — вентирирование при полностью развившемся пожаре. При полностью развившемся пожаре невозможно контролировать толщину слоя горячих газов, поскольку все здание охвачено огнем и заполнено дымом. В таком случае задача состоит в том, чтобы предотвратить распространение горячих газов по зданию, а вместе с ними и пожара при условии, что дым и горячие газы выбрасываются из здания через вентиляционные отверстия в крыше, а поступление свежего воздуха на площадь, охваченную пожаром, осуществляется только через самые низкие отверстия. В обеих номограммах используется понятие «нейтральная плоскость». Она может быть представлена как горизонтальная плоскость, проходящая в охваченном огнем помещении на определенном уровне, выше которого давление превышает атмосферное, что способствует выбросу дыма и горячих газов наружу. Давление под плоскостью ниже атмосферного, благодаря чему наружный воздух поступает на площадь, охваченную пожаром. На уровне нейтральной плоскости давление будет равно атмосферному, и, следовательно, здесь не будет никакого течения воздуха внутрь или наружу из охваченного огнем помещения.

Номограммы 3.8 отражают связь факторов, контролирующих положение нейтральной плоскости, и позволяют рассчитать требуемую площадь вентиляционных отверстий, при которой нейтральная плоскость будет расположена так, что горячие газы не будут выходить наружу из отверстий нижнего уровня. Необходимо подчеркнуть, что рассматриваемые номограммы могут применяться только в том случае, когда полная площадь отверстий на нижнем уровне менее $1/20$ площади пожара (рис. 3.12). В номограммах использованы следующие величины: B — высота вытяжки (расстояние между нейтральной плоскостью и расчетным уровнем потолка, проходящим через центр вентиляционных отверстий); P — расстояние между нейтральной плоскостью и верхним срезом отверстий каждого нижнего уровня; X — ширина каждого отверстия нижнего уровня; Y — высота каждого отверстия нижнего уровня.

При проведении расчета сначала применяют номограмму 3.8,а для определения характеристического параметра N для каждого отверстия на нижнем уровне. Этот параметр зависит от размеров и положения отверстий, и для его определения с помощью номограммы 3.8,а необходимо знать Y , X и P . Коэффициент P/X определяет положение каждого отверстия.

Положение нейтральной плоскости должно быть на уровне верхнего края самого высокого отверстия или выше него.

При применении номограммы 3.8,а проводят прямую между соответствующими положениями шкалы ширины X и шкалы высоты Y . Точки пересечения линий, соединяющих значения ширины и высоты отверстий с переносной прямой, соединяют с соответствующими значениями P/Y на правой шкале. Там, где последние прямые пересекаются со шкалой N , можно определить значения характеристических параметров N .

Подобное построение производят для каждого отверстия нижнего уровня, все значения N , найденные таким способом, складывают и находят ΣN .

Далее применяют номограмму 3.8,б, на левой шкале находят значение B , которое представляет собой расстояние между нейтральной плоскостью и центральной точкой вентиляционных отверстий в крыше. На средней шкале отмечают величину ΣN , найденную выше. Затем соединяют эти точки прямой и продолжают ее до пересечения с правой шкалой, где определяют соответствующую площадь вентиляционных отверстий. (Шкала дает значение квадратного корня из площади вентиляционных отверстий.) При расчете площади вентиляционных отверстий нужно учитывать неизбежное в общем случае просачивание воздуха через стены здания.

Пример применения номограмм 3.8. Здание высотой 25 футов имеет плоское покрытие. Часть здания размером 50×50 футов отделена огнестойкой кирпичной стенкой (рис. 3.13). В этой разделительной стенке имеются два отверстия: дверной проем размером 10×8 футов, начинающийся от уровня пола, и отверстие разме-

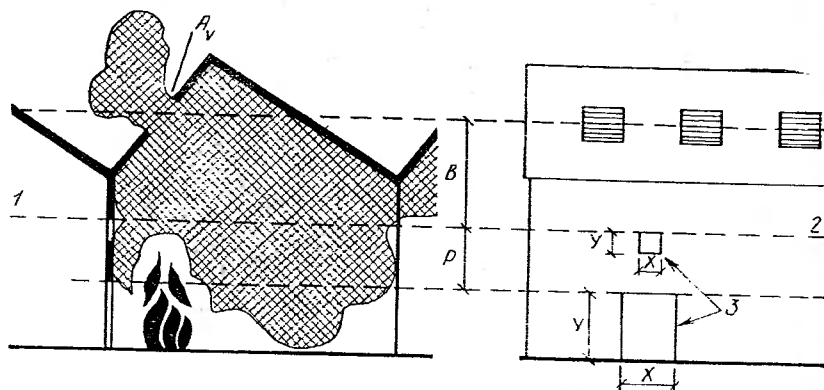


Рис. 3.12. Обозначения, принятые для номограмм 3.8

A_v — геометрическая свободная площадь вентиляционных отверстий; 1 — нейтральная плоскость; 2 — верхний срез самого высокого отверстия ниже нейтральной плоскости; 3 — отверстие на нижнем уровне

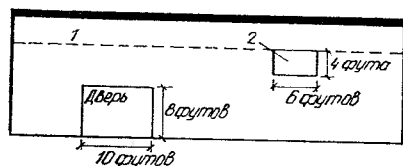


Рис. 3.13. Схема разделяющей стенки
1 — нейтральная плоскость; 2 — отверстия для конвейера

на располагаться на одном уровне с верхним срезом отверстия для конвейера, т. е. на высоте 15 футов от уровня пола. Требуется определить полную площадь вентиляционных отверстий, которая будет соответствовать указанному выше положению нейтральной плоскости.

1. Рассматриваем три отверстия, находящиеся ниже нейтральной плоскости, и определяем ΣN .

Отверстие 1 (для пропуска конвейера): $X=6$ футов (ширина), $Y=4$ фута (высота), $P=0$ (так как нейтральная плоскость проходит по верхнему срезу отверстия). Таким образом, $P/Y=0$. Строим прямые линии a_1 и a_2 на номограмме 3.8,а и получаем $N_1=30$.

Отверстие 2 (дверной проем): $X=10$ футов (ширина), $Y=8$ футов (высота), $P=7$ футов (расстояние между верхним срезом проема и нейтральной плоскостью). Таким образом, $P/Y=7/8=0,875$. Строим прямые линии b_1 и b_2 на номограмме 3.8,б и получаем $N_2=270$.

Отверстие 3 (пропуск воздуха через щели). Его площадь принимают равной 0,1% площади наружных стен. Поскольку проход воздуха через щели возможен в любой точке стены, расчет включают эквивалентное отверстие высотой, равной вы-

соте от основания до нейтральной плоскости, т. е. 15 футов. Ширина этого условного отверстия будет равна 0,15 фута, так как имеются три наружные стены длиной 50 футов каждая. Следовательно, $X=0,15$ фута (ширина), $Y=15$ футов (высота), $P=0$ (верхний срез отверстия совпадает с нейтральной плоскостью). Таким образом, $P/Y=0$. Строим прямые линии c_1 и c_2 на номограмме 3.8,а и получаем $N_3=6$. Суммируя, находим

$$\Sigma N = N_1 + N_2 + N_3 = 306.$$

2. Определяем расстояние между центром вентиляционных отверстий в крыше и нейтральной плоскостью B . В данном примере потолок плоский и центр отверстий совпадает с уровнем потолка. Поскольку высота здания 25 футов, а высота нейтральной плоскости над уровнем пола 15 футов, $B=10$ футов.

3. С помощью номограммы 3.8,б по найденным выше значениям ΣN и B определяем требуемую площадь вентиляционных отверстий. Квадратный корень из этой площади равен 15,1, и соответственно полная геометрическая площадь вентиляционных отверстий составит $15,1^2=228$ кв. футов.

3.3.6. Номограмма 3.9 — высота пламени при горении древесины. Эта номограмма дает соотношение между тремя следующими величинами: высотой пламени L в футах, количеством конвективного тепла, выделяемого единицей площади пожара Q_i/A_f , в БТЕ/(фут²·с) (конвективный нагрев составляет примерно $3/4$ всего количества тепла, выделяемого единицей площади пожара) и средним диаметром пожара D в футах. Вместо диаметра можно применять длину стороны квадрата, занятого огнем.

Соотношение между этими тремя параметрами дает возможность в некоторых случаях оценить количество тепла, полученных продуктами горения при пожаре, необходимое для применения номограммы 3.4. Кроме того, оценка высоты пламени помогает при определении температуры слоя горячих газов под потолком.

3.3.7. Номограмма 3.14 — доля выделяемого при пожаре тепла, уносимая через вентиляционные отверстия. Эта номограмма с помощью двух опорных прямых и переносной линии связывает следующие четыре величины, показанные на шкалах: толщину слоя горячих газов d_b , расстояние от расчетного точечного источника до перекрытия (r_g+h_c) , долю тепла, уносимую через вентиляционные отверстия, Q_v/Q_f и квадратный корень из геометрической свободной площади вентиляционных отверстий $A_v^{1/2}$. (Коэффициент расхода принят равным 0,6. В случаях, отличных от рассматриваемого, для ограничения возможного проникновения воздуха этот коэффициент следует скорректировать.)

Номограмма 3.14 применяется для расчетов при малом пожаре и позволяет оценить степень эффективности предусмотренных проектом вентиляционных отверстий в отношении выпуска тепла, выделяющегося при возможном пожаре.

На этой номограмме не указаны единицы измерения. Отно-

ТАБЛИЦА 3.3. ТЕМПЕРАТУРА СЛОЯ ГОРЯЧИХ ГАЗОВ

Конвективная теплота, выде- ляемая едини- цей площади пожара	Разме- ры по- жара, м	Высота свободно- го ды- ма слоя, м	Температура слоя горячих газов (сверх окружающей), °С	Конвективная теплота, выде- ляемая едини- цей площади пожара	Разме- ры по- жара, м	Высота свободно- го ды- ма слоя, м	Температура слоя горячих газов (сверх окружающей), °С
ГВт/м² [10 БТЕ/ фут²·с]	3×3	10	82	200 кВт/м² [17,5 БТЕ/ фут²·с]	3×3	10	13
		7	143			7	29
		5	227			5	49
		4	>300			4	65
	2×2	10	52		2×2	3	90
		7	96			10	<10
		5	160			7	15
		4	232			5	32
	1×1	3	>300		1×1	4	46
		10	10			3	65
		7	35			5	<10
		5	68			4	15
		4	104			3	38
		3	173				

материалов, являющихся хорошими теплоизоляторами, температура на поверхности потолка может быть выше приведенной.

3.4.2. Поступление холодного воздуха. Вентиляция будет эффективно работать только в том случае, если холодный воздух сможет поступать внутрь здания, заменяя горячие газы, выбрасываемые наружу через вентиляционные отверстия в крыше. Следовательно, должно быть обеспечено поступление соответствующего количества холодного воздуха. Если полная площадь отверстий, через которые поступает холодный воздух, недостаточна, то вентиляционные отверстия в крыше будут использоваться не на полную мощность. На рис. 3.15 показано, как площадь приточных отверстий холодного воздуха влияет на эффективность удаления дыма. Для достижения степени удаления дыма не менее 90% расчетных значений необходимо, чтобы отношение площади приточных отверстий к площади вентиляционных отверстий составляло более 2 при холодном слое газов под потолком, 1,5 при температуре слоя газов, на 250°C превышающей окружающую, и было равно 1 при температуре слоя газов, на 800°C превышающей окружающую.

Соответствующую температуру слоя горячих газов принимают, исходя из размеров пожара, габаритов здания и требуемого уровня дыма, после чего рассчитывают площадь отверстий для притока воздуха. В идеальном случае приток воздуха должен осуществляться на уровне основания, чтобы отверстия находились как можно ниже границы слоя горячих газов. Это необходимо, чтобы предотвратить циркуляцию холодного воздуха внутри здания, захватывающую дым из облака, в результате чего возникают скопления дыма на уровне основания.

Желательно равномерно распределить приточные отверстия по периметру здания. В начальной стадии пожара, когда открыты только одно или два вентиляционных отверстия в крыше, может

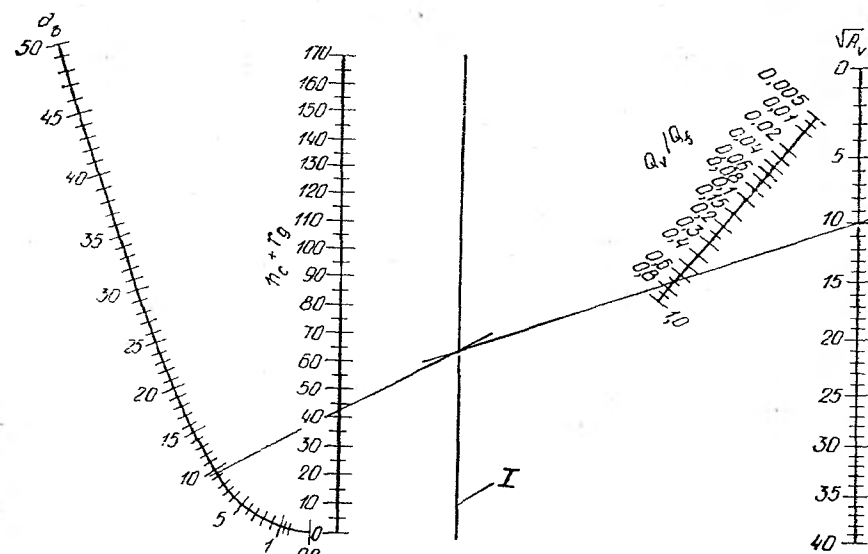


Рис. 3.14. Доля выделившегося при пожаре тепла, уносимая через вентиляционные отверстия
I — переносная линия

значение Q_v/Q_i безразмерно, а для остальных шкал может быть применена любая система единиц. Область применения номограммы может быть расширена при умножении всех длин на шкалах на один и тот же коэффициент.

3.4. ДРУГИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УДАЛЕНИЕ ДЫМА

3.4.1. Температура слоя горячих газов. Определение температуры слоя горячих газов имеет важное значение, так как она может оказывать существенное влияние на некоторые материалы, применяемые в конструкциях потолка, например на незащищенную сталь или сгораемые материалы.

Пока пожар мал и нижняя поверхность слоя горячих газов находится значительно выше языков пламени, температура слоя газов будет зависеть от количества теплоты, выделяемой при пожаре, и расстояния от нижней поверхности слоя до точечного источника пожара. Температура слоя (до 300°C) может быть рассчитана с помощью номограммы 3.4, а в некоторых случаях — по данным табл. 3.3.

Значения температуры, приведенные в табл. 3.3 (и рассчитанные по номограмме 3.4), позволяют оценить объем холодного воздуха, поступающего внутрь облака дыма. Когда теплота, выделяемая при пожаре, имеет значительную долю излучения (характерную для более сильного пожара), а потолок изготовлен из

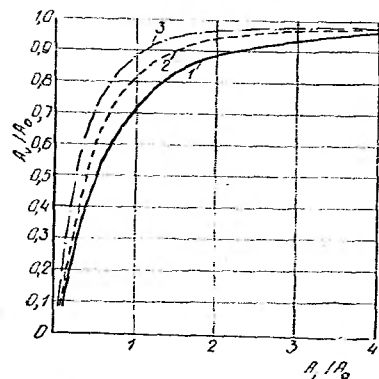


Рис. 3.15. Влияние притока холодного воздуха на эффективность дымоудаления
1—3 — температура слоя горячих газов (сверх окружающей) соответственно 0,250 и 800°C; A_0 — геометрическая площадь вентиляционных отверстий; A_a — фактическая площадь вентиляционных отверстий; A_i — площадь приточных отверстий

эффективность вентилирования при наличии нескольких небольших вентиляционных отверстий выше (рис. 3.16,б), чем при использовании одного большого отверстия такой же площади (рис. 3.16,а).

Это можно объяснить несколькими причинами:

а) если вентиляционное отверстие настолько велико, что его габариты соразмеримы с толщиной слоя дыма, то при течении газов наружу происходит разрушение нижней части слоя дыма, воздух попадает в восходящий поток и эффективность удаления дыма снижается;

б) вентиляционные отверстия, находящиеся непосредственно над огнем, более эффективны, чем такие же отверстия, расположенные в стороне от огня. Газы нагреваются сильнее, скорость их истечения возрастает, и пропускная способность вентиляционных отверстий увеличивается. Поскольку точное место возникновения пожара неизвестно, рекомендуется равномерно распределить вентиляционные отверстия над всей площадью, где возможен пожар, в результате чего одно или два отверстия всегда окажутся прямо над огнем и при пожарах могут быть быстро открыты, что способствует эффективному удалению дыма на ранней стадии пожара;

в) если пожар достиг стадии, когда пламя выходит из вентиляционных отверстий, то высота пламени в малом вентиляционном отверстии будет меньше, чем в большом, и, следовательно, при использовании малых вентиляционных отверстий снижается опасность воспламенения кровельного ковра или соседних зданий.

3.4.4. Ограничение бокового распространения огня путем расчленения пространства под потолком или крышей. Обычно при проектировании вентиляционной системы в крыше здания пред-

бывать достаточен естественный приток воздуха через двери, окна, однако при дальнейшем развитии пожара внутри здания требуется подать большее количество воздуха. При необходимости регулирование количества воздуха может быть осуществлено с помощью автоматической или ручной системы управления приточными отверстиями.

3.4.3. Размеры вентиляционных отверстий в крыше. Несмотря на то что во всех проектах содержатся указания по распределению площади вентиляционных отверстий в крыше при некоторых заданных условиях, необходимо учитывать, что проектные расчеты относятся к полной площади отверстий, и в общем случае при наличии нескольких небольших отверстий такой же площади

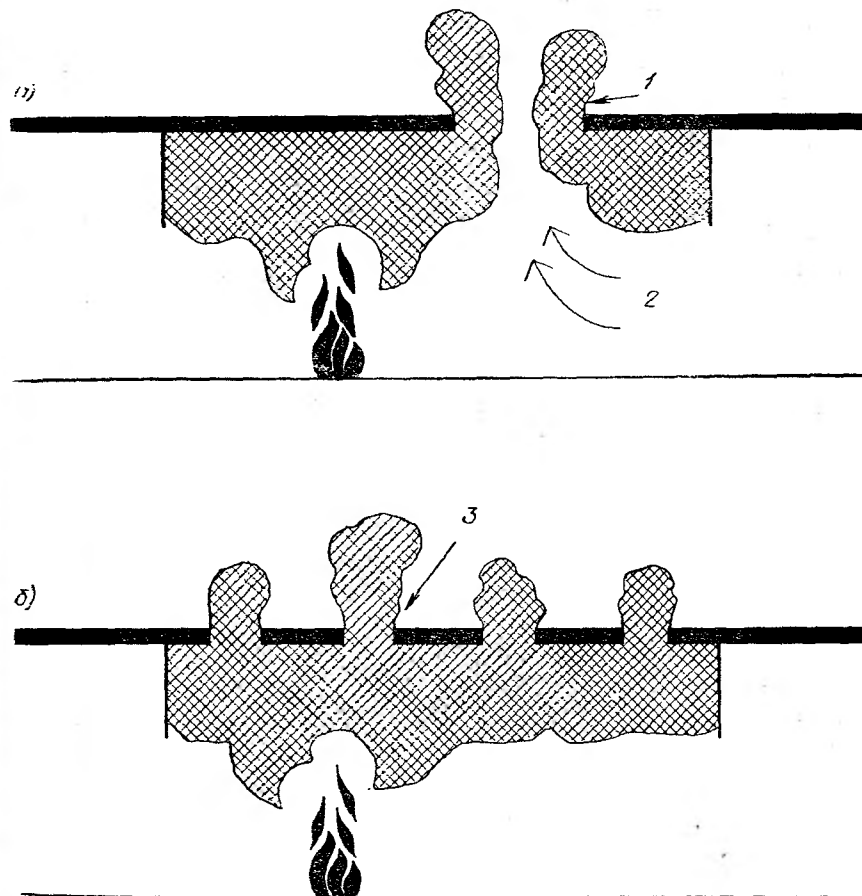


Рис. 3.16. Влияние размеров и расположения вентиляционных отверстий на эффективность дымоудаления

1 — одно большое вентиляционное отверстие; 2 — свежий воздух, поступающий в восходящий поток дыма, снижает объем удаляемого дыма; 3 — несколько небольших вентиляционных отверстий более эффективны

полагается устройство «резервуаров дыма» под потолком или крышей. В небольших зданиях применение такой конструкции не обязательно, а в крупных требуется ограничивать боковое распространение горячих газов под потолком. Необходимость устройства «резервуаров дыма» вызвана двумя основными причинами:

а) при повышении температуры горячих газов стремятся ограничить площадь их распространения в стороны, что может послужить причиной поврежденный или даже воспламенения горючих элементов облицовки потолка или коммуникаций;

б) если температура газов не очень высока, то при движении наружу облако дыма становится относительно холоднее и тоньше (из-за смешивания с холодным воздухом). В результате некото-

рые вентиляционные отверстия в крыше перестают действовать, поскольку они наиболее эффективны при высокой температуре газов и значительной толщине слоя дыма под отверстием, что создает необходимую разность давлений для выброса горячих газов через вентиляционные отверстия.

Размеры отдельных участков под потолком, служащих «резервуарами дыма», зависят от размеров пожара, толщины слоя горячих газов и высоты здания.

При рассмотрении конкретного здания два последних параметра можно считать известными, и неизвестным оказывается только один параметр — размеры пожара. Однако при разработке проектов, связанных с устройством вентиляционных отверстий в крыше, можно задать вероятный размер пожара и, следовательно, по уже известным критериям подобрать соответствующие размеры «резервуара дыма».

Применение номограмм, приведенных в этой главе, позволяет рассчитать максимальные размеры пожара, при котором горячие газы могут быть ограничены «резервуаром дыма» заданных размеров (табл. 3.4). При отсутствии достаточного количества проектных данных для расчета размеров «резервуара дыма» рекомендуется применять «резервуары» размером не более 60×60 м.

Перегородки, идущие от крыши или потолка вниз и образующие стенки «резервуаров дыма», должны быть негорючими и газонепроницаемыми. Желательно, чтобы они служили огнестойким элементом конструкции крыши. Небольшая утечка или пропуск газов через перегородку (например, в местах пропуска труб или других коммуникаций) не оказывают существенного влияния, если число таких точек невелико.

Высота перегородок всегда должна обеспечивать достаточную глубину «резервуара дыма», что повышает эффективность вентиляционных отверстий и позволяет ограничить распространение дыма при большом пожаре. При этом также обеспечивается максимально возможная задержка дыма до проникания в соседние помещения. Высокие стенки «резервуара дыма» способствуют непосредственному выбросу дыма наружу из опасной зоны и тем самым снижают степень повреждений, вызванных дымом. Площадь здания, которую необходимо защитить от воздействия дыма, должна быть ограничена «резервуарами дыма» со стенками повышенной плотности.

3.4.5. Воздействие неблагоприятных ветровых условий. При выборе положения вентиляционных отверстий в крыше и приточных отверстий для холодного воздуха необходимо учитывать воздействие внешних ветровых условий. Давление, возникающее под действием ветра, может превысить давление горячих газов, стремящихся вместе с дымом выйти наружу через вентиляционные отверстия в крыше, в результате чего холодный воздух будет поступать внутрь здания на уровне крыши и препятствовать выходу дыма. Дым будет опускаться вниз, образуя сгустки в нижней части помещения.

ТАБЛИЦА 3.4. МАКСИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОЖАРА (СТОРОНА КВАДРАТА, м) И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РАЗМЕРЫ «РЕЗЕРВУАРА ДЫМА» ПОД КРЫШЕЙ

Размеры и площадь «ре- зервуара ды- ма»	Высота здания, м	Максимальные размеры пожара (сторона квадрата, м) при удалении горячих газов и дыма через вентиляционные отверстия, площадь которых составляет от площади «резервуара дыма»														
		0,5%			1%			2%								
		при толщине слоя дыма, м														
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
20×20 м, 400 м ²	3	1,3	4,1	—	2,5	8,2	—	5,1	16,5	—	13	1*	—	—	—	
	6	0,3	0,5	1,2	0,6	1,0	2,4	1,3	1,9	4,7	3,2	4,8	12	—	—	
	9	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,8	0,6	1,1	1,6	1,6	2,7	4,0	—	—	
40×40 м, 1600 м ²	3	5,1	16,5	—	10	33	—	20,3	66*	—	51*	165*	—	—	—	
	6	1,3	1,9	4,7	2,6	3,9	9,5	5,2	7,7	19	13	19	47*	—	—	
	9	0,7	1,1	1,6	1,3	2,1	3,2	2,6	4,2	6,4	6,6	10,6	16	—	—	
60×60 м, 3600 м ²	3	11	37	—	23	74*	—	46*	148*	—	114*	370*	—	—	—	
	6	3	4,4	10,6	5,8	8,7	21	12	17	42*	29	44*	106*	—	—	
	9	1,5	2,4	3,6	2,9	4,8	7,2	5,9	9,6	14	15	24	36	—	—	

* Для пожара размером более 40×40 м теоретические расчеты дают лишь приближенные результаты

Ветровое давление на вентиляционные отверстия зависит от способа их открывания, конфигурации крыши и положения нижних приточных отверстий. При плоской кровле, когда истечение газов через вентиляционное отверстие происходит вертикально вверх (или близко к вертикали), ветровые потоки вокруг крыши обычно создают разрежение, которое повышает эффективность действия вентиляционных отверстий. Однако на крутых крышах (при угле больше 40°) давление ветра на наветренный откос будет препятствовать выходу горячих газов через вентиляционные отверстия, если плоскость вытяжного отверстия параллельна поверхности крыши. В больших зданиях, имеющих северную ориентацию, следует по возможности избегать размещения вентиляционных отверстий на висшей стороне откоса, чтобы не подвергать их сильному ветровому воздействию. Если нельзя избежать неблагоприятного расположения отверстий, то необходимо применять такую их конструкцию, при которой ветровая нагрузка будет всегда создавать эффект разрежения.

Задувание ветра внутрь здания через приточные отверстия нижнего уровня приводит к повышению давления, что способствует выбросу горячих газов наружу через вентиляционное отверстие в крыше. У приточных отверстий, находящихся на подветренной стороне, создается разрежение, в результате чего снижается эффективность работы вентиляционных отверстий в крыше. Поэтому приточные отверстия на нижнем уровне должны быть распределены по контуру здания и находиться под контролем ответственных, которые следят за тем, чтобы были открыты отверстия только с наветренной стороны.

3.4.6. Выбор способа вентилирования. Вентилирование здания во время пожара может осуществляться несколькими способами: пожарные могут взломать крышу; можно применить автоматическое устройство, обеспечивающее полное открывание вентиляционных отверстий в крыше или оплавление предохранителей в отверстиях; может произойти размягчение и выпадение пластмассовых деталей, установленных в конструкции крыши. Выбор способа вентилирования зависит от индивидуальных условий, характерных для каждого здания. Однако для любого здания вентиляция будет наиболее эффективной, если она действует уже в начальной стадии пожара, поэтому обычно предпочитают использовать автоматический способ открывания вентиляционных отверстий.

Вентилирование в начальной стадии пожара имеет ряд важных особенностей;

а) легче предотвратить образование густого дыма, чем удалить разреженный дым, заполнивший все здание. Это происходит из-за того, что на последних стадиях пожара движение дыма становится замедленным, а в некоторых точках прекращается вообще, и открывание вентиляционных отверстий на этой стадии менее эффективно, чем в начале пожара, когда имеется установившийся поток дыма и горячих газов снизу вверх;

б) если пожар в невентилируемом здании достиг больших размеров или протекает длительное время, то может наступить частичное затухание огня, в результате чего несгоревшие огнеопасные газы скапливаются под потолком и в «резервуаре дыма». При включении вентиляции возникает опасность воспламенения этих газов. Вентилирование в начальной стадии пожара предотвращает скопление таких огнеопасных продуктов неполного сгорания;

в) если ущерб от пожара хотят ограничить одной частью крыши, то вентиляционные отверстия в этой части должны быть открыты до тех пор, пока она не заполнится дымом и горячие газы не начнут проникать в соседние «резервуары дыма»;

г) при раннем начале вентилирования легче обнаружить пожар в пустом здании, а распространение огня сводится к минимуму, так как из здания удаляются нагретые продукты горения.

Когда рассчитывают на полное открывание вентиляционных отверстий в крыше, то пытаются учесть точки с сильным задымлением на нижнем уровне здания или исходят из возможности выхода из строя дистанционного управления при пожаре, прежде чем вентиляционные отверстия будут открыты.

3.4.7. Вентиляционные отверстия в крыше и спринклерные системы. Устройство вентиляционных отверстий в крыше не должно противопоставляться спринклерным системам. Вентиляционные отверстия в крыше относятся к системе удаления дыма, а спринклеры предназначены для тушения пожара. Поэтому следует применять обе системы одновременно — и вентиляционные отверстия, и спринклеры. При тушении пожара спринклерной системой выделяется большое количество дыма, и вентиляционные отверстия в крыше способствуют удалению этого нагретого дыма из здания. С другой стороны, спринклерная система будет полностью отвечать своему назначению, если станет неотъемлемой частью системы удаления дыма, ограничивая распространение огня.

Огонь, бушующий под потолком, становится значительно спокойнее после срабатывания спринклерных установок. Это может быть результатом работы спринклерных головок, удаленных от площади пола, охваченной огнем, однако применение потолочных перегородок и вентиляционных отверстий ограничивает боковое распространение огня и дыма и предотвращает излишнее включение удаленных спринклерных головок.

Применение потолочных перегородок создает предпосылки для быстрого включения соответствующих спринклерных головок, но при открывании вентиляционных отверстий в крыше температура газов под потолком снижается и, следовательно, включение спринклерных головок задерживается. Поэтому, когда в здании одновременно применяются спринклеры и автоматические вентиляционные отверстия в крыше, головки спринклеров всегда проектируют таким образом, чтобы они срабатывали прежде, чем откроются вентиляционные отверстия в крыше. В то же время должно быть предотвращено попадание пены, выделяемой спринклерами,

на плавкие предохранители системы управления вентиляционными отверстиями в крыше. Если необходимо, эти плавкие элементы защищают от попадания водяных брызг путем соответствующего расположения перегородок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thomas, P. H., Hinkley, P. L., Theobald, C. R. and Simms, D. L. (1963). Investigations into the flow of hot gases in roof venting. Fire Research Technical Paper No. 7, London HMSO.
2. Thomas, P. H. and Hinkley, P. L. (1964). Design of roof venting systems for single storey buildings. Fire Research Technical Paper No. 10, London HMSO.
3. Hinkley, P. L. and Theobald, C. R. (1966). P. V.C. roof lights for venting fires in single storey buildings. Fire Research Technical Paper No. 14, London HMSO.
4. Yokoi, S. (1960). A study on the prevention of fire spread caused by hot upward current. Japanese Ministry of Construction Building Research Institute Report No. 34, Tokyo.

4. ПРОТИВОДЫМНАЯ ЗАЩИТА ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ БЕЗ ПОЛНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ (ЗАКРЫТЫЕ МАГАЗИНЫ)

Традиционно при проектировании зданий с учетом безопасности находящихся в них людей исходят из следующих общих требований:

помещение, где может возникнуть пожар, должно быть небольшим, замкнутым, и его ограждающие конструкции должны иметь заданную огнестойкость;

расстояние, на которое перемещаются люди по горящему этажу, чтобы достичь «безопасной точки», не должно превышать установленного значения;

«безопасная точка», т. е. дверь, ведущая к защищенному пути эвакуации, должна быть достаточно широка, чтобы пропустить ожидаемое на данном этаже число людей в заданный интервал времени;

защищенный путь должен иметь ограждающие конструкции с огнестойкостью, предусмотренной соответствующими стандартами; необходимо, чтобы он был полностью замкнут, связан со всей площадью этажа и обеспечивал эвакуацию людей без всякого риска непосредственно на уровень нижнего этажа и на открытый воздух.

Разнообразие типов зданий и способов их возведения привело в последние годы к необходимости полного переосмысления традиционных планировочных концепций, классическим примером которых являются закрытые торговые центры. Большое число людей, выбирающих покупки, не имеют точного представления о размерах магазина, в котором они находятся, что в полной мере относится также к конторским зданиям, театрам, ресторанам и т. д. Применение строительных норм и правил пожарной безопасности является необходимым условием возможности традиционной планировки путей эвакуации в отдельных зданиях или

комплексе зданий, где сгруппировано вместе несколько построек различного назначения.

Если при возникновении пожара только в одном из зданий, входящих в состав комплекса, большое количество дыма и горячих газов может быстро распространиться из этого здания в другие части комплекса, то такая возможность должна учитываться при проектировании системы противодымной защиты этих зданий для гарантии быстрого удаления проникшего дыма в атмосферу и ограничения распространения дыма уровнем, значительно превышающим рост человека, чтобы коридор хорошо просматривался и на его площади не возникало препятствий для эвакуации людей.

Трудно представить себе границы распространения дыма и виды ущерба, которые могут иметь место даже при относительно небольшом пожаре; пожар в торговом центре Вальфрана и Мандера в Вулвергемптонс (1970) дает ясное представление об этой проблеме.

4.1. ПОЖАР В ТОРГОВОМ ЦЕНТРЕ ВАЛЬФРАНА И МАНДЕРА

4.1.1 Здания. Торговый центр Вальфрана и Мандера занимает площадь более 14 га и состоит из ряда компактных зданий, в которых размещено около 220 арендуемых торговых точек различного размера. Здания были спроектированы и построены до утверждения строительных норм. Два центра в комплексе связаны закрытым пешеходным переходом, ведущим от входа ко всем торговым точкам (рис. 4.1). С каждой из улиц, примыкающих к торговому центру на различных уровнях, можно попасть внутрь торгового зала; к торговому центру примыкают 10-этажная башня конторского здания и два многоэтажных гаража. В обширном подвальном этаже размещены технические и разгрузочные площади всех торговых точек.

4.1.2. Возникновение пожара. Пожар начался в магазине ковров Вальфран-центра (см. 1 на рис. 4.1) в интервале между 18 ч 45 мин, когда пожар еще не был обнаружен, и 5 ч 40 мин, когда запах горения стал ощущаться на расстоянии 220 м. Человек, обнаруживший запах, решил, что в магазине сжигают мусор, и ничего не предпринял. Известно также, что человек, доставивший хлеб в магазин в 5 ч 15 мин, войдя в две наружные двери, не заметил ничего необычного, за исключением того, что в витрине не было света. Возможно, что к этому моменту дым и несгоревшие газы уже проникли через вентиляционные отверстия над витриной магазина ковров и заполнили длинную полость над подвесным декоративным потолком аркады вне магазина.

Прохожий увидел дым рядом с большим складом в Мандер-центре на расстоянии 122 м от места горения и в 6 ч 08 мин вызвал пожарную команду, оставаясь на месте происшествия. Оконные стекла магазина ковров треснули, и огонь с большой силой вырвался наружу в аркаду, а затем вместе с горящими газами быстро распространился вниз в закрытый переход, ведущий от

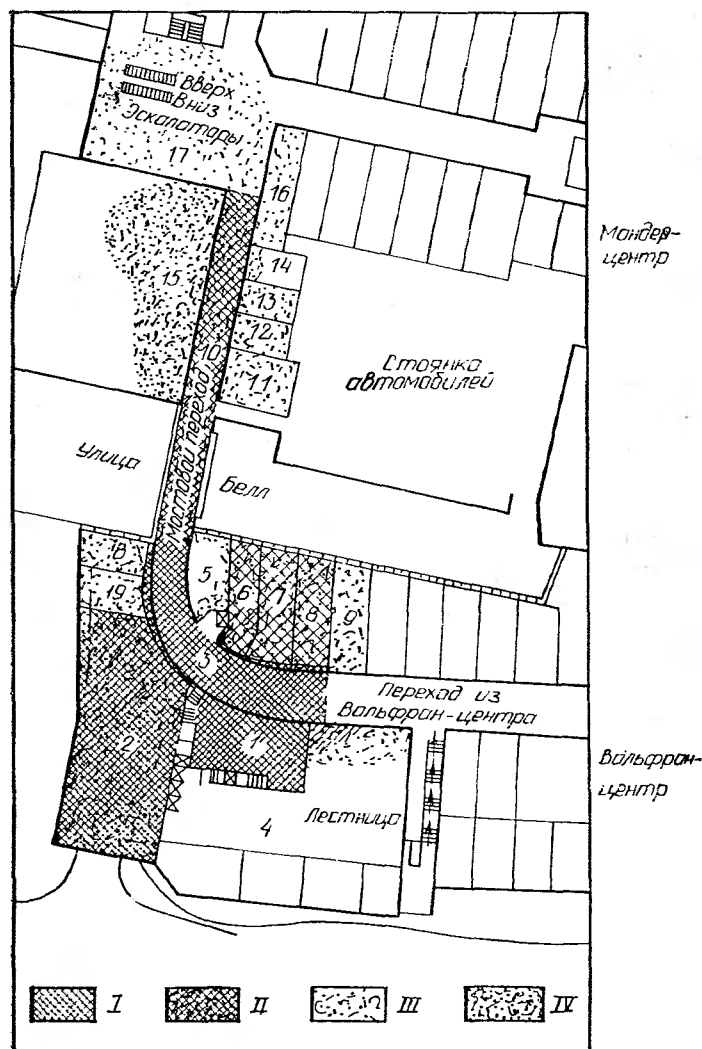


Рис. 4.1. План торгового центра Вальфрана и Мандера

I — помещения, поврежденные огнем; II — помещения, получившие повреждения под действием высокой температуры; III — помещения, поврежденные под действием дыма; IV — помещения, поврежденные водой; 1—17 — помещения, поврежденные в результате пожара и пожаротушения

Вальфран-центра к Мандер-центру. В 6 ч 12 мин сработали все спринклерные головки снаружи и три внутри большого склада, находящегося на расстоянии 115 м от огня. Нагретый воздух начал выходить наружу в сквер у Мандер-центра (сверху слева на рис. 4.1). Спринклерная система склада была непосредственно связана линией GPO с контрольным пунктом пожарной команды. В 6 ч 15 мин включилась светочувствительная охранная сигнализация в

других магазинах на расстоянии более 110 м от огня после проникания дыма в эти магазины. Однако в это время пожарная команда Вулвергемптона была занята на другом пожаре. Когда пожарные прибыли на место, положение было серьезным, так как огонь уже проник в закрытые помещения и пожар начался в десяти магазинах. Свежий ветер способствовал распространению огня.

4.1.3. Развитие пожара. При дальнейшем развитии пожара наблюдалось быстрое распространение тепла вдоль рассматриваемого участка торгового зала, а огонь перемещался по спирали, по пути причиняя различный ущерб. Возгорасаемые элементы потолка также способствовали распространению огня, а плотный дым и недостаточная вентиляция помещений поставили пожарных в трудное положение. Пешеходный переход шириной 8,5 м, начинающийся у склада ковров, после поворота в арку под углом 90° суживается до 3,6 м. При распространении огня вдоль помещения каждая сторона магазина подвергается его воздействию, и, хотя с увеличением расстояния причиненный огнем ущерб уменьшается, все же пожар оказался достаточно интенсивным, чтобы, как уже упоминалось, включились в работу спринклерные головки на расстоянии 115 м.

4.1.4. Ущерб от пожара. При пожаре на складе ковров были повреждены товары и оборудование и появились заметные трещины на поверхности бетонных плит потолка и на колоннах. Подвальный этаж незначительно пострадал от воды. Четыре помещения по соседству со складом ковров (винно-водочная лавка, магазин диетических продуктов, мясная лавка и магазин рекламной продукции фирм, книг и кустарных изделий) понесли при пожаре относительно небольшой ущерб: от воздействия высокой температуры, дыма и воды пострадали фасад магазина, ручки оконных рам, отделка и мебель. Эти же факторы вызвали незначительные повреждения в подвальном и цокольном этажах.

Стеклянные витрины четырех больших магазинов в Вальфран-центре были повреждены под действием огня и высокой температуры, а мебель — из-за воздействия дыма. Аналогичный ущерб, но не столь значительный был причинен в Мандер-центре с другой стороны крытого перехода, где четыре больших магазина пострадали от дыма. Запасы товаров, находящиеся в торговых секциях, получили незначительные повреждения от дыма и воды спринклерной системы. Часть бетонных потолков в крытом переходе растрескалась, а декоративные балки коммуникационных линий в покрытиях магазинов обоих центров получили повреждения на расстоянии 116 м, однако в Мандер-центре повреждения оказались менее значительными [22].

4.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ

При проектировании путей эвакуации из здания необходимо предусмотреть, чтобы люди имели возможность выйти наружу,

пройдя охваченное огнем помещение, через огнестойкую дверь, ведущую к защищенному пути эвакуации (защищенным считается переход, у которого стены, пол и потолок выполнены из огнестойких конструкций). Люди, находящиеся внутри перехода, должны быть защищены от пожара в течение установленного времени. Однако в зданиях некоторых типов, в частности в крупных закрытых торговых комплексах, главные пути эвакуации, по функциональным соображениям, не могут иметь огнестойких ограждающих конструкций. Например, магазины могут примыкать к пешеходным переходам с двух сторон, а их фасады могут не иметь остекленных окон — в некоторых случаях полностью открытый фасад предпочтительнее по коммерческим соображениям.

Тем не менее пешеходные переходы являются главными путями эвакуации из торгового центра, где при пожаре подвергается риску множество людей. Поэтому пути эвакуации должны всегда обеспечивать пропуск большого числа людей в установленное время. Эффективная защита от проникания дыма на пути эвакуации является важнейшим требованием при проектировании зданий такого типа.

До недавнего времени почти не было информации о проектировании систем противодымной защиты в зданиях рассматриваемого типа, но теперь такая информация стала появляться. Различные аспекты этой проблемы пока исследованы слабо, и накопленный опыт обычно аккумулируется в проектах новых торговых центров. При этом применяются общие принципы удаления дыма, описанные в гл. 3.

В Руководстве по пожарной безопасности [1], подготовленном Министерством внутренних дел, рекомендуется в целях пожарной безопасности снизить плотность застройки городских центров. В нем приведены также требования к противодымной защите одиночных эвакуационных путей на этажах. Информация, приведенная в этом Руководстве, основана на данных Пожарной исследовательской станции Института исследования зданий в Борехемвуде (Англия) и материалах, опубликованных в работах [2—11]. Это ценные материалы, но следует принять во внимание и дополнительную информацию, приведенную в списке литературы.

Имеются два различных пути решения проблемы противодымной защиты зданий рассматриваемого типа:

а) система противодымной защиты охватывает всю площадь магазина; проектирование такой системы обеспечивает защиту от попадания дыма внутрь пешеходного перехода и фактически является идеальным решением проблемы;

б) система противодымной защиты при пожаре в магазине не предохраняет пешеходный переход от попадания дыма, а лишь препятствует его распространению вдоль перехода и удерживает слой дыма на такой высоте над полом, что люди могут беспрепятственно двигаться под ним.

Не всегда можно ограничиться одним из этих двух способов, иногда приходится применять их комбинацию, однако в любом

случае необходимо выполнять правила проектирования, описанные ниже.

4.2.1. Плаваемость дыма и застойные зоны. Основная идея системы противодымной защиты, рассмотренная в этой главе, состоит в том, что при пожаре в магазине дым нагревается настолько, что его плаваемость становится достаточной для образования устойчивого слоя под потолком без смешивания с чистым воздухом, находящимся ниже. В то же время с помощью механической вентиляции или вытяжных люков дым будет удаляться из этого слоя. Следует по возможности предотвращать образование застойных зон в слое дыма или в воздушном слое, прилегающем к нему. Застойные зоны могут возникнуть при неправильной компоновке системы вентиляции или вытяжки, а также в тех случаях, когда пути движения дыма имеют тупики.

Нижняя поверхность застойного слоя дыма быстро охлаждается, поэтому дым легко смешивается с воздухом, прилегающим снизу. Если в воздухе под слоем дыма имеются застойные зоны, то дым стремится заполнить эти зоны и образуется туман достаточной плотности, что значительно снижает видимость. Это явление обусловлено множеством факторов, в частности тем, что застойный воздух на границе с дымом быстро нагревается и смешивается с дымом (если дым также находился в застойной зоне, то смешивание происходит очень медленно) или дым может опускаться у стен, охлаждаясь от соприкосновения с ними [9].

Поэтому при проектировании необходимо предусмотреть равномерное распределение вентиляционных или вытяжных устройств в слое или в «резервуаре дыма», а также соответствующую систему подачи воздуха на нижнем уровне, чтобы поступающий воздух был более чистым, чем воздух внутри здания.

Если практически такие требования выполнить не удается, то можно попытаться применить дополнительную вытяжку или подать воздух в тупиковую зону. Для этих целей можно использовать обычную вентиляционную систему.

4.2.2. Действие спринклерной системы на слой дыма. Как показано в гл. 1, количество дыма, выделяющееся при пожаре, очень велико, и при проектировании системы противодымной защиты необходимо оценить предполагаемые размеры возможного пожара в соответствии с указаниями гл. 2. В рассматриваемых здесь зданиях пути эвакуации должны оставаться пригодными к эксплуатации в течение длительного периода, следовательно, размеры пожара должны быть ограничены даже при выходе из строя части оборудования системы противодымной защиты при усилении огня. Поэтому необходимо размещать спринклерное оборудование на всех площадях здания, где может возникнуть пожар. Это требование относится и к переходам, если на каком-либо этапе деятельности торгового центра в них легко может вспыхнуть огонь.

Поскольку спринклерная система оказывает существенное влияние на ограничение размеров возможного пожара, необходимо рас-

смотреть механизм взаимодействия между слоем дыма и спринклерами при их работе.

Спринклерная система может воздействовать на дым двумя способами:

разбрызгиванием воды внутри слоя дыма, в результате чего дым опускается вниз к полу;

охлаждением дыма, в результате чего снижается его плавучесть и дым медленнее удаляется через вентиляционные отверстия в крыше.

Взаимодействию спринклерной системы с дымом посвящено много исследований. В работе [12] описана серия испытаний, проведенных Пожарной инспекцией Лос-Анджелеса, в результате которых установлено, что спринклеры, взаимодействуя с горючим материалом, способствуют снижению количества выделяемого дыма. В противоположность этому результаты других экспериментов [13] показали, что работа спринклерного оборудования приводит к образованию сгустков дыма на нижнем уровне. В работе, опубликованной Пожарной исследовательской станцией Борехемвуда (см. гл. 3), указано, что в некоторых случаях дым под действием спринклеров вначале опускается на нижний уровень, а затем снова втягивается в зону огня вместе с поступающим воздухом. Таким образом, при работе спринклеров не возникает проблемы удаления дыма, за исключением зоны, находящейся в непосредственной близости от огня.

Поскольку для удаления дыма важно ограничить его положение слоем, находящимся на заданном стабильном уровне, Буллен [14] обобщил имевшиеся данные о работе спринклеров. В этой работе отмечено, что при толстом слое дыма (т. е. при толщине слоя 1 м и более), нагретом в достаточной степени, плавучесть дыма может не измениться после включения спринклерной системы. Поскольку при работе спринклерного оборудования снижается температура продуктов, выделяемых при пожаре, и слой дыма в магазине и пешеходных переходах становится холоднее и опускается вниз, за это время необходимо успеть эвакуировать всех людей. Однако у пожарной команды могут все же возникнуть трудности при борьбе с огнем.

Недавно сделанные (и еще не опубликованные) расчеты охлаждения слоя дыма, удаляющегося от пожара мощностью 5 МВт (т. е. пожара обычных размеров, при котором применяется спринклерное оборудование), показали быстрое снижение температуры и позволили сделать вывод, что при обычных условиях горения в большом магазине или складе дым и газы, попадающие в переходы, имеют слишком низкую температуру для эффективной работы спринклеров. Однако в маленьких магазинах такой же пожар (5 МВт) потребует установки нескольких спринклерных головок в пешеходных переходах. По сообщению Моргана [15], при непрерывной работе спринклеров может возникнуть ослабление эффекта естественной вытяжки дыма из «резервуаров». Это происходит из-за того, что при работе спринклеров дым в «резервуаре»

охлаждается, снижается его плавучесть, что отрицательно сказывается на эффективности естественной вентиляции. Морган сделал вывод, что площадь вентиляционных отверстий в «резервуаре дыма», охлажденном при работе спринклерного оборудования, должна быть увеличена на 27 %, чтобы удержать дым на заданном уровне.

На основе одного примера трудно сделать окончательные выводы, но качественная сторона картины, описанной выше, не вызывает сомнений; поэтому можно предположить, что в «резервуарах дыма», оборудованных спринклерами и рассчитанных на удаление дыма за счет естественной вентиляции, следует увеличить полную площадь вентиляционных отверстий на 20—25 %. Если удаление дыма осуществляется с помощью принудительной вытяжной системы, то нет необходимости увеличивать площадь вентиляционных отверстий, поскольку охлаждение дыма перед поступлением в вытяжную систему только способствует эффективности вытяжки.

4.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ФАСАДОВ МАГАЗИНОВ И ЗАКРЫТЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

4.3.1. Ограничение распространения дыма в магазине (рис. 4.2). Простейшим является случай, когда фасад магазина выполнен из огнестойких конструкций и установлены самозакрывающиеся огнестойкие двери. Однако создать такие условия непросто. Даже если предположить, что ограждающие конструкции не пропускают дым, все же целесообразно рассмотреть способы ограничения распространения дыма в магазине, удерживая его под потолком, что обеспечивает безопасные условия эвакуации большого количества людей, возможно, незнакомых с планом здания.

В целях противопожарной защиты всей площади магазина необходимо ограничить распространение дыма в горизонтальном направлении и обеспечить свободное пространство между нижней поверхностью слоя горячих газов и дыма и головами эвакуирующихся людей. Расстояние от пола до нижней границы слоя дыма зависит от высоты магазина, но во всех случаях оно должно быть не менее 2,5 м.

В связи с этим необходимо установить различие между «малым» и «большим» магазинами или складами. В последнем случае не только возможно, но и желательно удержать дым в пределах площади торгового зала магазина. При этом предполагают, что если дым заполнит большой торговый зал прежде, чем попадет в пешеходный переход, то произойдет значительное понижение температуры и дым станет слишком холодным, чтобы оставаться у вентиляционных отверстий в переходе или у отверстий вытяжной системы, в результате чего возникнет сильное задымление на уровне пола. Следовательно, при наличии развитой системы переходов в магазине, площадь которого превышает 1000 м², они должны иметь собственную систему противопожарной защиты. Такое тре-

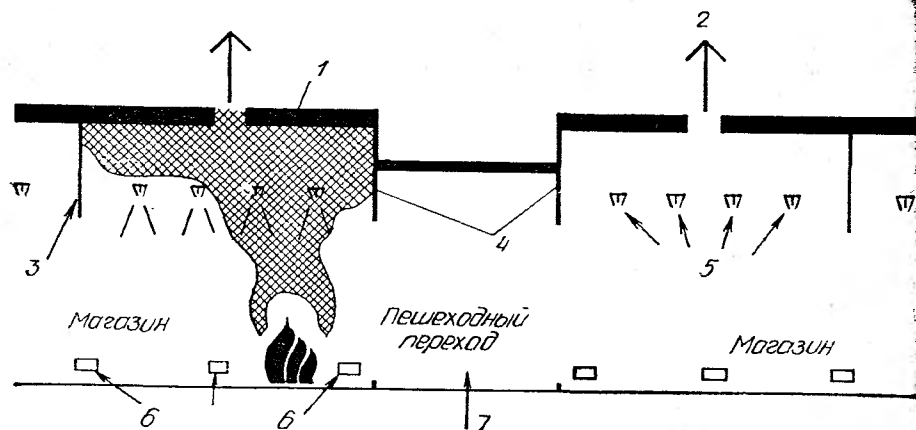


Рис. 4.2. Ограничение распространения дыма в магазине

1 — ограничение распространения дыма с помощью «резервуара», образованного перегородками и низкими бортиками; 2 — вентиляционное или вытяжное отверстие из каждого «резервуара»; 3 — перегородка; 4 — низкие бортики; 5 — спринклеры; 6 — подача свежего воздуха; 7 — подача свежего воздуха в пешеходный переход при развитой системе снабжения

бование обеспечивает защиту людей в переходах и помогает эвакуировать людей, находящихся в магазине. В маленьком магазине, площадью менее 1000 м², индивидуальная система противодымной защиты в переходах не может быть реализована из-за недостатка места для размещения необходимого вентиляционного оборудования.

Установлены следующие требования к проектированию системы противодымной защиты на площади магазина:

а) спринклеры должны быть установлены в магазине так, чтобы обеспечить ограничение размеров возможного пожара до 3×3 м (при этом периметр пожара равен 12 м и предполагаемое количество тепла, выделяемое при горении, составляет 5 МВт. Такое предположение обосновано для большинства торговых помещений магазина, однако оно нуждается в серьезном пересмотре, если происходит концентрация горючих и легковоспламеняющихся материалов);

б) пространство под потолком должно быть разделено на «резервуары дыма» путем установки под потолком вертикальных перегородок. Эти перегородки должны иметь достаточную высоту, однако расстояние от нижнего края перегородки до пола не должно быть меньше 2,5 м. В некоторых случаях рекомендуют высоту перегородок принимать не менее 1 м. Максимальная площадь «резервуара дыма» не должна превышать 1000 м². Если площадь магазина находится в пределах указанного значения, то весь магазин может быть рассмотрен как один «резервуар дыма». Такое ограничение предельных размеров связано с ослаблением эффективности вентиляционной системы при большом охлаждении слоя

дыма под потолком. Если предполагается применить механическую систему вытяжки, то не обязательно строго выдерживать указанное ограничение размеров «резервуара дыма», однако и в этом случае его площадь не должна превышать 1300 м².

Если в магазине имеется подвесной потолок, то пространство, расположенное над ним, может быть включено в объем «резервуара дыма», если площадь перфорации составляет по крайней мере 40% площади подвесного потолка, а объем, занятый коммуникациями, не превышает 50% объема пространства над подвесным потолком. При этом перегородки, образующие стенки «резервуара дыма», должны доходить до перекрытия. В том случае, когда площадь перфорации превышает 40% площади подвесного потолка, а расстояние от перекрытия до подвесного потолка достаточно велико, нет необходимости в установке перегородки, так как все пространство над подвесным потолком будет служить «резервуаром дыма».

Когда торговый зал магазина примыкает к пешеходному переходу, необходимо предотвратить возможность утечки дыма из «резервуара» в месте примыкания и его попадания внутрь пешеходного перехода. Это означает, что бортовая доска должна иметь по крайней мере такую же толщину, как другие перегородки, образующие «резервуар дыма». Желательно, чтобы высота этой бортовой доски превышала высоту других стенок «резервуара», что при утечке обеспечит распространение дыма в соседние «резервуары», а не в пешеходный переход.

Как было указано в гл. 3, требования к перегородкам, образующим «резервуар дыма», состоят в том, что эти перегородки должны быть несгораемыми, обладать достаточной газонепроницаемостью и оставаться неповрежденными при прерывистом воздействии пламени. Небольшая утечка дыма через стенки «резервуара», например в местах расположения труб, не имеет существенного значения. Требования к бортовым доскам аналогичны требованиям к перегородкам, однако утечка дыма через бортовые доски должна быть полностью исключена;

в) «резервуары дыма» не смогут долго выполнять своих функций, если не будет обеспечено механическое или естественное удаление дыма в каждом из них. В одноэтажных зданиях целесообразно использовать вентиляционные отверстия в крыше. В многоэтажных зданиях для обеспечения естественной вентиляции требуется устройство вертикальных каналов с каждого этажа, размеры которых соответствуют размерам вентиляционных отверстий в крыше¹. Такое решение обычно неэкономично, поэтому следует рассмотреть возможность устройства механической вытяжки. При применении обоих способов — естественной вентиляции и механи-

¹ Вертикальный канал действует как дымовая труба, и площадь его поперечного сечения может быть меньше, чем площадь поверхности вентиляционных отверстий. Количество газа, проходящее через канал, пропорционально его площади, умноженной на квадратный корень из высоты.

ческой вытяжки — размеры системы будут зависеть от заданных условий проектирования, требуемого расстояния между нижним краем стенки «резервуара дыма» и полом и в некоторой степени — от глубины «резервуара дыма».

Естественная вентиляция. В табл. 4.1 приведены данные, необходимые для проектирования естественной вентиляции. Эти данные относятся к вентиляции в магазинах, т. е. к удалению дыма из помещения, охваченного пожаром. Для пешеходных переходов принимают другие значения.

Необходимо подчеркнуть, что площадь вентиляционных отверстий, найденная с помощью табл. 4.1, должна обеспечиваться в каждом «резервуаре дыма», причем площадь вентиляционных отверстий не зависит от площади «резервуара». Даже если площадь «резервуара дыма» невелика, необходимо обеспечить полную площадь вентиляционных отверстий, зависящую от глубины «резервуара».

Площадь вентиляционных отверстий, приведенная в табл. 4.1, рассчитана исходя из предположения, что максимальная площадь пожара равна 3×3 м (т. е. периметр пожара равен 12 м) и, следовательно, требуется установка спринклеров. В неглубоких резервуарах площадь вентиляционных отверстий, указанная в табл. 4.1, может быть получена как сумма площадей нескольких маленьких отверстий. Применение в неглубоком резервуаре больших вентиляционных отверстий менее эффективно [16], так как в этом случае воздух поступает внутрь поднимающегося облака дыма в центре отверстия и вместо дыма вентилируется смесь дыма и свежего воздуха (рис. 4.3). Если вентиляционные отверстия имеют небольшую площадь, проникновение свежего воздуха снижается и в принципе может быть исключено. Исходя из изложенного, в мелких «резервуарах дыма» рекомендуется требуемую площадь вентилирования обеспечивать, применяя несколько мелких отверстий вместо одного большого.

ТАБЛИЦА 4.1. ТРЕБУЕМАЯ ПЛОЩАДЬ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ В ТОРГОВЫХ ЗАЛАХ МАГАЗИНОВ

Глубина «резервуара дыма» — расстояние от нижнего края стенки «резервуара» до выпускного вентиляционного отверстия, м	Требуемая площадь вентиляционных отверстий в каждом «резервуаре», м ² , при расстоянии от пола до нижнего края стенок «резервуара дыма», м				
	2,5	3	3,5	4	5
1	6,0	8,1	—	—	—
1,5	5,0	6,6	—	—	—
2	4,4	5,8	—	—	—
3	3,6	4,7	7,3	8,9	—
5	2,8	3,6	5,9	7,2	10,1
8	2,2	2,9	4,6	5,6	7,8
10	1,9	2,6	3,6	4,4	6,2
			3,2	3,9	5,5

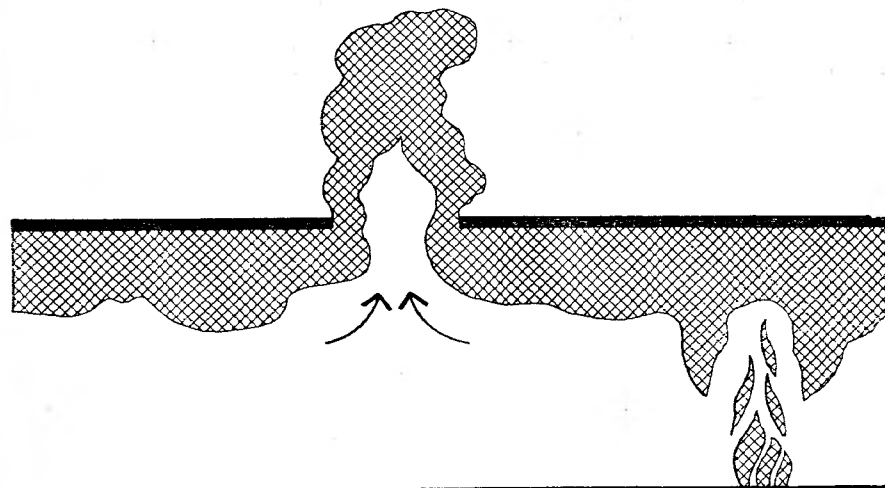


Рис. 4.3. При тонком слое дыма свежий воздух всасывается внутрь большого вытяжного отверстия

В табл. 4.2 приведено минимальное число вентиляционных отверстий, которое следует использовать для получения полной площади вентилирования; из этой таблицы видно, что наибольшее число отверстий соответствует мелким «резервуарам». Предполагается, что мелкие вентиляционные отверстия равномерно расположены над площадью «резервуара дыма».

Если удаление дыма из «резервуара» за счет естественной вентиляции достаточно эффективно, необходимо обеспечить подачу свежего воздуха для создания внутри магазина потока, заменяющего дым и горячие газы, которые выбрасываются наружу. Проблема состоит в том, чтобы поток, возникший в магазине при подаче свежего воздуха на уровне пола, не вызвал завихрений на границе со слоем «дым — чистый воздух», расположенной на уровне нижней поверхности «резервуара дыма».

ТАБЛИЦА 4.2. МИНИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ВЫПУСКНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ В ОДНОМ «РЕЗЕРВУАРЕ ДЫМА» В МАГАЗИНЕ

Расстояние между нижним краем стенки «резервуара» и полом, м	Минимальное число вентиляционных отверстий при расстоянии между нижним краем стенки «резервуара дыма» и центром вентиляционных отверстий (т. е. глубине «резервуара дыма»), м						
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
2,5	5	2	1	1	1	1	1
3	6	2	1	1	1	1	1
3,5	8	3	2	1	1	1	1
4	9	4	2	1	1	1	1
5	10	5	2	2	1	1	1

Площадь приточных отверстий, подающих свежий воздух, должна быть по крайней мере вдвое больше площади вытяжных вентиляционных отверстий любого одиночного «резервуара дыма». Свежий воздух, поступающий из пешеходных переходов, достаточно надежно обеспечивает свободный поток газов при условии, что в ограждающих конструкциях магазина имеются отверстия, через которые поступает воздух даже при закрытых дверях.

Как правило, для ограничения распространения дыма при пожаре в магазине вытянутой формы и большой площади необходимо сделать столько вентиляционных отверстий в крыше, что даже в одноэтажных зданиях это практически неосуществимо. В многоэтажных зданиях приходится устраивать систему каналов-дымоходов от нижнего этажа к верхним, что также весьма неэкономично. В связи с этим можно предположить, что удаление дыма будет более эффективным при механической вытяжке.

Механическое удаление дыма. В табл. 4.3 приведены данные, необходимые для проектирования системы механического удаления дыма. Как и при естественной вентиляции, указанная скорость удаления дыма должна быть обеспечена в каждом «резервуаре дыма». Однако достаточно эффективной может оказаться и специальная избирательная система, при которой полную скорость удаления дыма по табл. 4.3 необходимо обеспечить только в «резервуаре дыма», находящемся непосредственно над огнем; в прилегающих «резервуарах дыма» достаточно уменьшенная скорость удаления дыма (в 2 раза меньше по сравнению со значениями, приведенными в табл. 4.3). При этом возникает движение дыма у «резервуара» над огнем, что позволяет избежать образования застойных зон.

Температура газов в табл. 4.3 имеет максимальные значения непосредственно над огнем. При удалении газов из зоны огня их температура быстро снижается: газы охлаждаются под действием струй спринклерной установки, отдают тепло за счет радиации и конвекции через пол и потолок, а также под действием системы удаления нагретых дыма и газов. Точный расчет степени охлаж-

ТАБЛИЦА 4.3. ТРЕБУЕМЫЙ РАСХОД ДЫМА ИЗ «РЕЗЕРВУАРОВ» В МАГАЗИНАХ

Расстояние от пола до нижнего края стенки «резервуара дыма», м	Требуемый массовый расход удаляемого дыма, кг/с	Максимальная температура горячих газов (превышение над температурой окружающего воздуха), °C	Требуемый объемный расход удаляемого дыма при максимальной температуре, м³/с	Расстояние от пола до нижнего края стенки «резервуара дыма», м	Требуемый массовый расход удаляемого дыма, кг/с	Максимальная температура горячих газов (превышение над температурой окружающего воздуха), °C	Требуемый объемный расход удаляемого дыма при максимальной температуре, м³/с
2,5	9	560	22	4	18	280	29
3	12	420	24	5	25	200	35
3,5	15	340	26	6	35	150	44

дения газов провести невозможно в связи с неопределенностью граничных условий (неизвестны понижающие коэффициенты потерь тепла, охлаждение за счет спринклерной установки и т. д.), однако приближенная оценка [17] позволяет сделать вывод, что вытяжная вентиляционная система способна выдерживать температуру 200—250 °C и обеспечивать необходимую скорость удаления дыма при равномерном распределении вытяжных отверстий в «резервуаре».

Требуемая скорость удаления дыма не зависит от размеров «резервуара дыма», но значения, приведенные в табл. 4.3, базируются на предположении, что размеры пожара ограничены спринклерной системой (до 3×3 м). Точки удаления из «резервуара дыма» должны располагаться как можно выше и равномерно распределяться над площадью «резервуара». Значения, приведенные в табл. 4.2, нужно принимать как руководство по определению необходимого числа точек удаления дыма. Из этой таблицы видно, что в глубоких «резервуарах» имеются равные условия даже при применении только одной точки удаления, но «резервуары» с низкими стенками должны быть обязательно снабжены несколькими точками удаления.

При системе естественной вентиляции должна быть обеспечена подача свежего воздуха внутрь магазина для замены дыма, выброшенного в атмосферу. Здесь используются отверстия, через которые свежий воздух поступает внутрь магазина, или осуществляется замена дыма свежим воздухом с помощью вентиляторов.

Если принята схема подачи воздуха через приточные отверстия, то направление воздушного потока должно быть таким же, как при естественной вентиляции, т. е. воздух поступает через приточные отверстия на уровне пола, а площадь приточных отверстий должна вдвое превышать площадь вытяжных отверстий, которые требовались при отсутствии механического дымоудаления. Приточные отверстия в торговом зале магазина устраивают в том случае, если нет непосредственного контакта на нижнем уровне между торговым залом и пешеходными переходами. Однако возможности применения малых приточных отверстий для обеспечения воздухом системы вытяжных вентиляторов ограничены, поскольку такие отверстия создают очень высокое сопротивление. Рассмотренные особенности относятся только к системе механического дымоудаления и не проявляются при естественном удалении дыма. Практически размеры вентиляторов, необходимые для вытяжки дыма, всегда достаточно велики, поэтому дополнительное увеличение нагрузки на них нежелательно.

При подаче воздуха работающими вентиляторами количество поступающего воздуха должно равняться количеству, удаляемому через систему вытяжки, если воздух поступает непосредственно в торговый зал магазина через отверстия с решетками, расположенными на нижнем уровне. Однако некоторые достоинства существуют и в системе подачи воздуха в пешеходные переходы с помощью каналов с решетками. В этом случае они всегда должны рас-

полагаться на нижнем уровне между торговым залом и переходом. Поток воздуха из перехода в торговый зал предотвращает случайное попадание дыма из «резервуара» магазина в пешеходный переход.

Создание полной герметизации между торговым залом и переходом практически неосуществимо, однако небольшое течение, возникающее при поступлении воздуха в переходы и вытяжке дыма из горящего торгового зала, оказывает положительное влияние на работу «резервуаров дыма» в магазине. Если предполагается применить такой метод противодымной защиты в магазине, то масса воздуха, поступающего в переходы, должна по меньшей мере вдвое превышать массу дыма, удаляемую из магазина вытяжной системой. Подача воздуха в этом случае может быть осуществлена через отверстия, распределенные вдоль перехода (на нижнем уровне) так, что поток воздуха всегда направлен из перехода в горящий торговый зал магазина.

Исходя из требования, что система противодымной защиты должна ограничивать распространение дыма в магазине зоной пожара, можно отметить, что даже при рассмотрении простого случая иногда трудно отдать предпочтение естественной или механической вытяжке. Такие условия имеют место, в частности, в небольших магазинах, в то время как в больших торговых залах, т. е. таких, площадь которых превышает 1000 м², система противодымной защиты должна обеспечить ограничение распространения дыма на участке пожара. В следующем разделе рассмотрен другой метод противодымной защиты, при котором принимается, что дым, возникший при пожаре в торговом зале, может распространяться внутри пешеходных переходов.

4.3.2. Удаление дыма из пешеходных переходов. При возникновении пожара в торговом центре пешеходные переходы должны оставаться пригодными к эксплуатации в течение достаточно длительного периода, поскольку они связывают магазин с открытым воздухом и, следовательно, являются главными путями эвакуации для находящихся в торговом зале покупателей, число которых может быть весьма большим. Если дым из горящего магазина поступает внутрь пешеходных переходов, то должно быть ограничено его боковое распространение и слой дыма должен удерживаться на достаточной высоте над уровнем пола (выше головы человека), чтобы люди могли свободно передвигаться и видели, куда они идут.

При движении из магазина в переход дым охлаждается и смешивается с большим количеством воздуха. Поэтому данные, рекомендованные выше для расчета естественной вентиляции или вытяжки дыма из торгового зала, не могут применяться для переходов. При проектировании системы противодымной защиты в

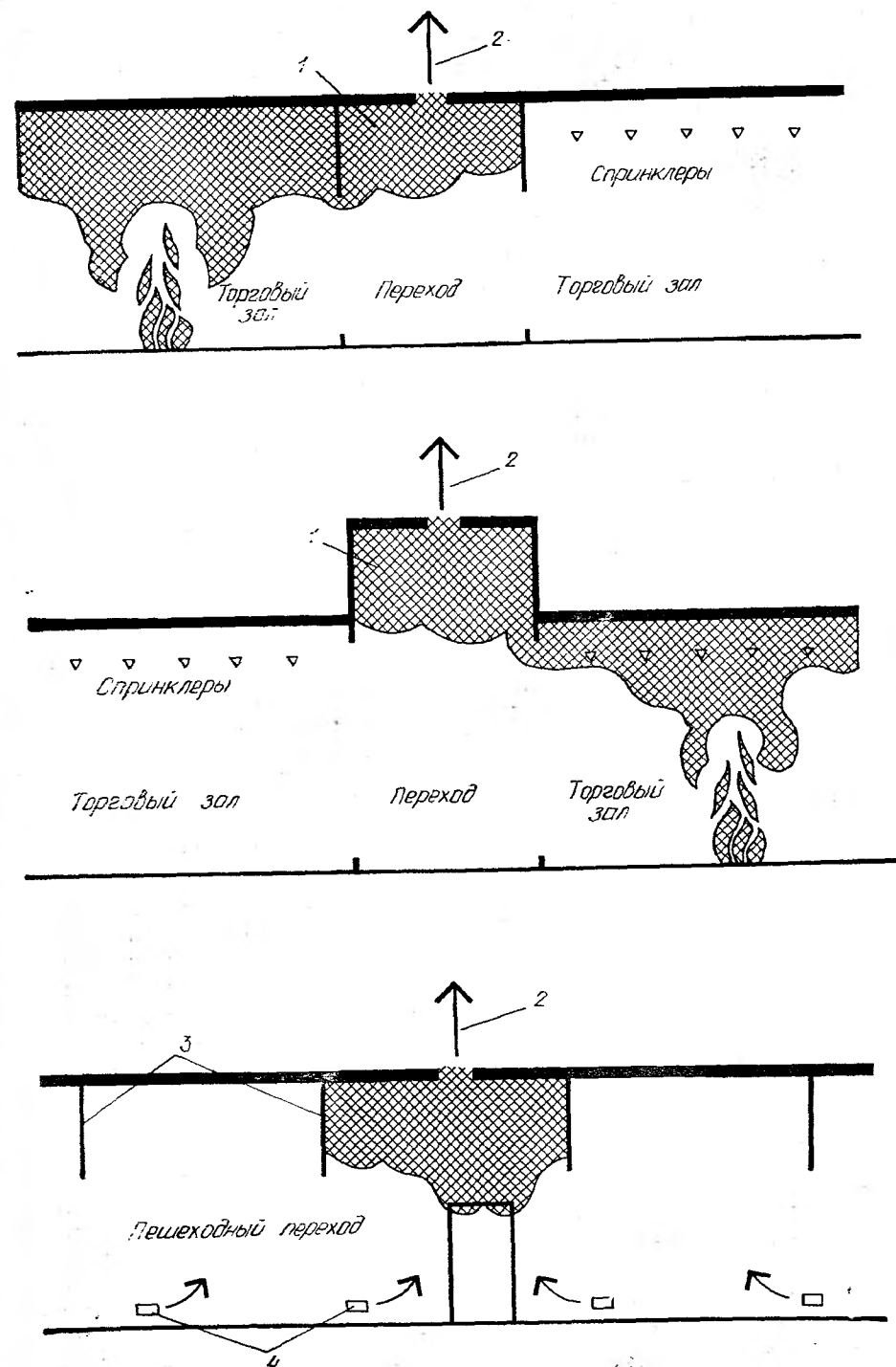


Рис. 4.4. Общие принципы противодымной защиты пешеходных переходов

1 — «резервуар дыма», образованный в переходе; 2 — механическая или естественная вытяжная вентиляция в переходе; 3 — перегородки, образующие «резервуар дыма» и ограничивающие его боковое распространение; 4 — приток свежего воздуха

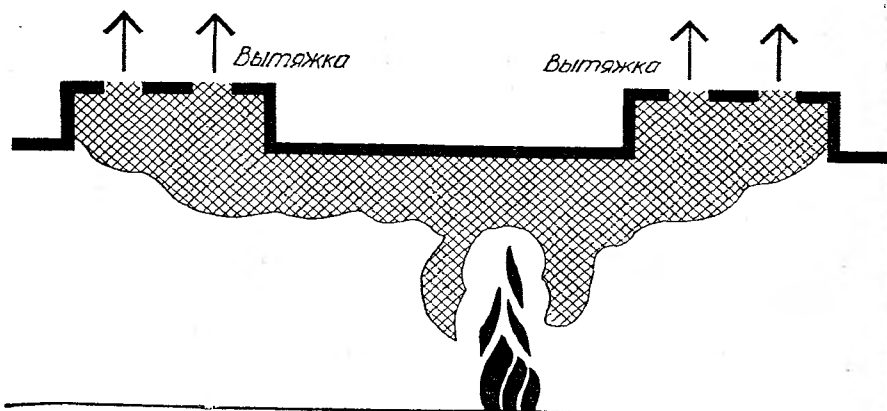


Рис. 4.5. Вертикальные выступы в переходе, которые применяются взамен перегородок, образующих «резервуары дыма» под потолком

пешеходных переходах предъявляются следующие требования (рис. 4.4):

а) спринклеры должны быть установлены во всех торговых залах и пешеходных переходах, если имеется вероятность размещения в них товаров или других горючих материалов. Это важное требование, так как систему противопожарной защиты проектируют исходя из пожара размером 3×3 м;

б) пространство под потолком в пешеходном переходе должно быть превращено в «резервуары дыма» путем установки перегородок по контуру перехода и бортовой доски такой же толщины вдоль каждого торгового зала. Максимальная длина «резервуара дыма» (т. е. шаг перегородок) не должна превышать 60 м. Максимально допускаемая площадь «резервуара дыма», так же как и торгового зала, не должна превышать 1000 м^2 , но в пешеходных переходах приходится ограничиваться меньшей площадью, так как главным фактором является предельная длина, равная 60 м. «Резервуар дыма» рекомендуется делать по возможности глубоким, однако расстояние от пола до нижнего края стенок «резервуара» должно быть не менее 2,5 м. Минимальная глубина «резервуара дыма» должна составлять 1 м. Часть пространства над подвесным потолком в переходе может быть включена в объем «резервуара дыма», если в подвесном потолке имеется перфорация, площадь которой составляет не менее 20% площади потолка. В том случае, когда площадь перфорации составляет 40% и более, «резервуаром дыма» можно считать весь объем над подвесным потолком, однако если эта площадь меньше 40%, то стенки «резервуара» должны выступать ниже уровня подвесного потолка так, чтобы часть объема «резервуара» находилась под подвесным потолком. Пространство над подвесным потолком можно включить в «резервуар дыма», если объем, занятый различными коммуникациями, не превышает 50%, и в их конструкции не применяются горючие материалы.

В некоторых новых проектах потолок пешеходного перехода по всей ширине приподнят над уровнем потолка торгового зала, что заменяет стенки «резервуара дыма» [10] (рис. 4.5). В этом случае остаются в силе требования, приведенные выше. Расстояние между осями вертикальных перегородок не должно превышать 60 м. Требования к толщине слоя дыма в переходе должны оставаться такими же, как и для «резервуара дыма», образованного с помощью завес или перегородок под потолком. Все отверстия системы естественной вентиляции или удаления дыма должны располагаться в выступающих вверх элементах, а площадь отверстий должна быть больше, чем в «резервуарах», образованных перегородками (см. ниже). Требования к подвесному потолку остаются такими же, как указано выше;

в) «резервуар дыма» не сможет эффективно ограничивать высоту слоя дыма, если не будет обеспечено удаление дыма и горячих газов из «резервуара» в объеме, равном поступающему. Удаление дыма может осуществляться за счет естественного вентилирования через отверстия в крыше (частично подходит для одноэтажных переходов) или с помощью принудительной вытяжки.

Удаление дыма системой естественной вентиляции. В этом случае требуемая площадь вентиляционных отверстий зависит от двух факторов — расстояния от пола до нижнего края перегородок, формирующих слой дыма под потолком, и расстояния от названного уровня до центра вентиляционных отверстий. Требуемая площадь вентиляционных отверстий приведена в табл. 4.4.

Площадь вентиляционных отверстий, принятая по табл. 4.4, должна быть обеспечена для каждого «резервуара дыма», причем площадь этих отверстий не зависит от площади «резервуара», т. е. в «резервуаре» небольших размеров площадь вентиляционных отверстий должна быть такой же, как в самом большом «резервуаре». Здесь, так же как и в других случаях, площадь вентиляцион-

ТАБЛИЦА 4.4. ТРЕБУЕМАЯ ПЛОЩАДЬ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДЫМА ИЗ «РЕЗЕРВУАРОВ» В ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Высота от нижнего края стенок «резервуара» до вентиляционного отверстия (т. е. глубина «резервуара дыма»), м	Площадь вентиляционных отверстий, м^2 , при расстояниях от пола до стенок «резервуара» (уровень низа слоя дыма), м					
	2,5	3	3,5	4	5	6
1	12	16	—	—	—	—
1,5	10	13	—	—	—	—
2	9	12	15	18	—	—
3	7	9	12	14	20	26
5	6	7	9	11	16	21
8	4	6	7	9	12	16
10	4	5	6	8	11	15

ТАБЛИЦА 4.5. МИНИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ОТВЕРСТИЙ В ОДИОМ «РЕЗЕРВУАРЕ ДЫМА» В ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПЛОЩАДИ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ

Уровень нижнего края стенка «резервуара» (расстояние от пола), м	Минимальное число отверстий при толщине слоя горячих газов (глубине «резервуара дыма»), м						
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
2,5	9	4	2	1	1	1	1
3	12	4	2	2	1	1	1
3,5	15	6	3	2	1	1	1
4	18	7	3	2	2	1	1
5	24	9	4	3	2	2	1
6	34	12	6	4	3	2	1

ных отверстий назначается из условия ограничения пожара размером 3×3 м.

В неглубоких «резервуарах дыма» рекомендуется применять несколько малых отверстий, равномерно распределенных по поверхности «резервуара», причем суммарная площадь этих отверстий должна быть равна требуемой. В табл. 4.5 приведено число отверстий, из которых должна набираться требуемая площадь вентилирования.

Принудительное удаление дыма. Удаление дыма из «резервуара» при естественной вентиляции не всегда бывает эффективным и во многом зависит от планировочного решения торгового комплекса, так что часто только принудительное удаление дыма практически может обеспечить требуемый результат. Это в первую очередь относится к многоэтажным зданиям.

Объем дыма, который должен удаляться системой принудительной вытяжки, зависит главным образом от расстояния от пола до нижнего края стенки «резервуара дыма» (при этом, конечно, при проектировании всегда принимают, что пожар ограничен размером 3×3 м). В табл. 4.6 дан объем дыма, который необходимо

ТАБЛИЦА 4.6. ТРЕБУЕМАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ «РЕЗЕРВУАРОВ ДЫМА» В ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Расстояние от пола до нижней границы стенки «резервуара дыма», м	Массовый расход дыма, подлежащего удалению, кг/с	Максимальная температура горячих газов (сверх температуры окружающего воздуха), °С	Объемный расход дыма, подлежащий удалению при максимальной температуре, м³/с	Расстояние от пола до нижней границы стенки «резервуара дыма», м	Массовый расход дыма, подлежащего удалению, кг/с	Максимальная температура горячих газов (сверх температуры окружающего воздуха), °С	Объемный расход дыма, подлежащий удалению при максимальной температуре, м³/с
2,5	18	280	29	4	36	140	44
3	24	210	34	5	50	100	56
3,5	30	170	39	6	70	75	73

удалить с помощью вытяжной системы, в зависимости от толщины незадымленного слоя, принятой при проектировании системы противодымной защиты.

Требуемая производительность вытяжки, приведенная в табл. 1.6, относится к одиночному «резервуару». Она должна быть обеспечена, чтобы «резервуар дыма» мог выполнять свои функции под действием дыма или пламени. Можно использовать избирательную систему, при которой производительность вытяжки из «резервуара дыма», удаленного от пожара, зависит от производительности вытяжки из «резервуара дыма» над огнем или из прилегающего к нему «резервуара».

Если в переходе применена избирательная система удаления дыма, то, как и в торговом зале магазина, полная производительность вытяжки дыма должна быть обеспечена в «резервуаре дыма», находящемся непосредственно над огнем. Два прилегающих «резервуара» могут иметь пониженную производительность вытяжки (в 2 раза меньше значений, приведенных в табл. 4.6), так что некоторое количество дыма может поступать в «резервуар» из торгового зала, где произошел пожар.

Необходимо еще раз отметить, что производительность вытяжки дыма не должна зависеть от размеров «резервуара дыма». Полная производительность вытяжки, указанная в табл. 4.6, должна быть обеспечена даже в том случае, если длина «резервуара» значительно меньше максимально допустимой длины 60 м.

Подача воздуха. Как и во всех системах противодымной защиты, подача свежего воздуха в переход для вытеснения дыма, удаляемого под потолком, должна осуществляться на нижнем уровне, в противном случае эффективность вентиляции понижается. Главный принцип заключается в том, что площадь отверстий, через которые поступает свежий воздух, должна по крайней мере вдвое превышать полную площадь вытяжных отверстий в каждом «резервуаре дыма».

Подачу свежего воздуха можно осуществлять несколькими способами:

а) двери в концах переходов оборудуют специальными устройствами, обеспечивающими их открывание в случае пожара, что приводит к возникновению потока воздуха вдоль перехода по направлению к пожару и препятствует попаданию дыма в переход из заполненного «резервуара». Недостаток этого способа состоит в том, что при открывании дверей часть воздуха поступает достаточно высоко над уровнем пола. Последнее вызывает раздробление нижней поверхности слоя дыма при смешивании с воздухом и приводит к опусканию дыма в пешеходном переходе на нежелательно низкий уровень. Кроме того, описанный эффект может сильно возрасти при неблагоприятных ветровых условиях, однако установка перегородок под потолком [10] в нескольких метрах от двери сводит влияние ветра к минимуму (рис. 4.6 и 4.7; см. также п. 4.3.4);

б) свежий воздух подают в переход через стены, непосредственно

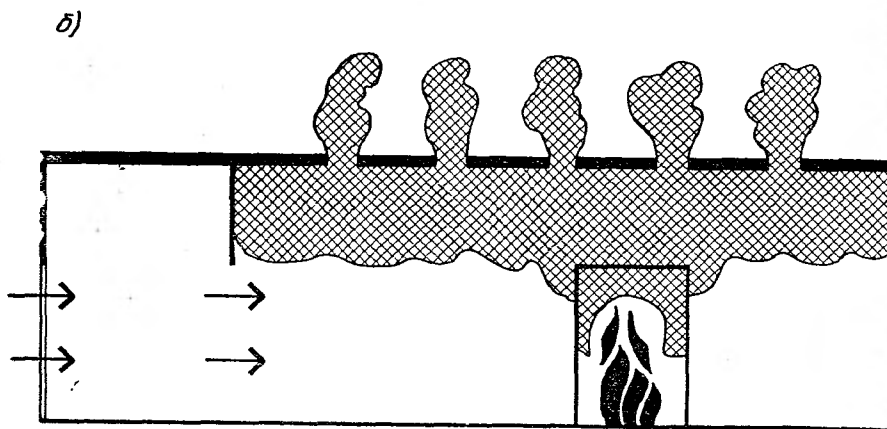
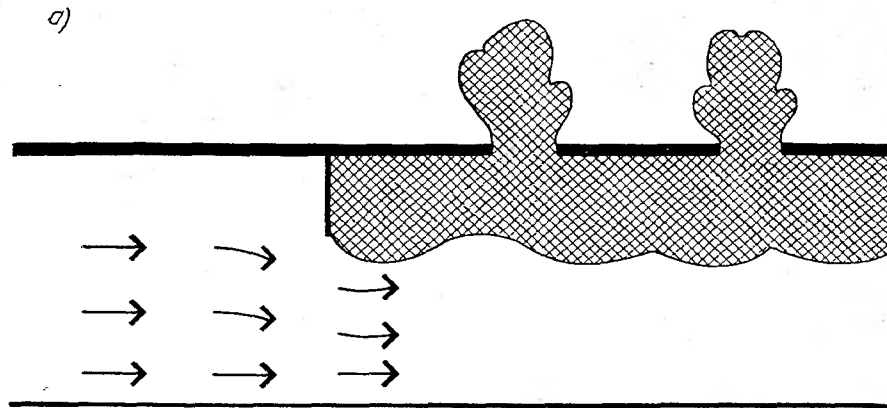


Рис. 4.6. Различные способы противодымной защиты коридоров

а — поток воздуха вдоль перехода уменьшает возможность перетекания дыма под перегородкой; б — перегородка, установленная под потолком в переходе в нескольких метрах от двери, уменьшает влияние дыма

венно граничащие с внешним воздухом (например, по каналам), однако такой способ может оказаться практически неосуществимым;

в) воздух подают через окна или с помощью вентиляторов, установленных позади магазина; однако при таком способе не должно происходить смешивания слоя горячих газов со слоем чистого воздуха, находящимся под ним, и возникать подсоса большого количества дыма из горящего торгового зала;

г) применяют механическую систему снабжения свежим воздухом; такой способ может оказаться наилучшим для исключения недостатков, присущих другим способам, рассмотренным выше,

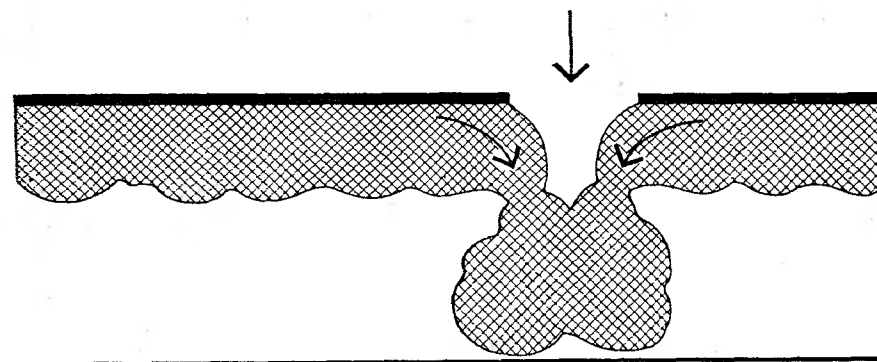


Рис. 4.7. При поступлении холодного воздуха происходит его смешивание с дымом на нижнем уровне; такой ситуации следует по возможности избегать

однако при его применении требуется так распределить точки подачи воздуха в переход, чтобы скорость потока была по возможности низкой;

д) воздух поступает через вентиляционные отверстия в крыше, удаленные от пожара; такой способ может показаться подходящим, но применять его не рекомендуется. Если возникает течение дыма из «резервуара», находящегося непосредственно над огнем, в прилегающие «резервуары», то дым сильно охлаждается и его плавучесть может стать недостаточной для выноса потоком свежего воздуха без применения других приточных отверстий. В результате холодный дым опускается вниз и, находясь в переходе на нижнем уровне, может затруднить эвакуацию людей.

Подача воздуха при применении механического удаления дыма. При удалении дыма из «резервуара» с помощью принудительной вентиляции количество удаляемых горячих газов должно быть по крайней мере равно количеству поступающего свежего воздуха. Если снабжение воздухом также осуществляется с применением системы принудительной вентиляции, то это требование легко можно выполнить уже на стадии проектирования. Достоинством такого способа является стабильность подачи воздуха при неблагоприятных ветровых условиях и возможность выполнения основного требования: воздух должен поступать над уровнем пола на низкой скорости.

Когда снабжение свежим воздухом осуществляется путем создания тяги через специально предусмотренные отверстия, должны выполняться те же правила, что и при проектировании удаления дыма с помощью естественной вентиляции. Это означает, что площадь отверстий для снабжения свежим воздухом должна быть вдвое больше площади вентиляционных отверстий в крыше; поэтому площадь приточных отверстий будет зависеть от требуемой в особых условиях площади вентиляционных отверстий в крыше. В исключительных случаях при применении принудительной вытяжки разрешается снизить площадь приточных отверстий, однако

это делать не рекомендуется. Поток свежего воздуха вдоль пешеходного перехода является существенной частью системы противодымной защиты, поэтому не должно быть никакого ограничения подачи воздуха для создания такого потока.

4.3.3. Особые требования к многоэтажным магазинам. При проектировании крупных торговых центров может возникнуть необходимость применения многоэтажных торговых залов и пешеходных переходов, что вызывает значительные трудности при осуществлении противодымной защиты.

Многоэтажный магазин с пешеходными переходами на двух или более уровнях. Если система противодымной защиты должна обеспечить ограничение дыма вокруг источника его появления в торговом зале с помощью естественной вентиляции или вытяжки из «резервуара дыма», то при наличии нескольких этажей не требуется при проектировании вносить какие-либо изменения. Если этажи в магазине отделены друг от друга огнестойкими конструкциями, то это значит, что дым будет распространяться независимо на каждом этаже, и поэтому «резервуары дыма» и систему вытяжки нужно проектировать для каждого этажа отдельно (рис. 4.8, а).

Если нет огнестойких разделительных конструкций между этажами в магазине, то «резервуары дыма» под потолком необходимо устраивать на каждом этаже там, где имеются несущие участки перекрытий, и эти «резервуары» должны быть снабжены соответствующей системой удаления дыма (рис. 4.8, б). Там, где перекрытие между этажами отсутствует или между ними имеется прямой контакт, «резервуар дыма» должен быть размещен непосредственно над этим местом (или местами), и при расчете требуемой производительности вытяжки дыма из «резервуара» нужно учитывать дополнительную высоту между нижним этажом и нижним краем стенки «резервуара дыма» на верхнем уровне. Такой «резервуар» требует создания вытяжки большей производительности (см. табл. 4.3), и, следовательно, количество воздуха, поступающее в магазин, должно быть соответствующим образом увеличено.

Можно добавить, что «резервуар» над проемом в перекрытии или открытым участком, по которому дым поднимается вверх, должен быть шире и длиннее проема, так как приходится учитывать, что поднимающееся облако дыма, как правило, распространяется в стороны под углом 15°. Поскольку размер «резервуара дыма» ограничен длиной 60 м и площадью 1000 м², приведенное выше требование позволяет установить максимально допустимые размеры проемов в перекрытии или открытых участков между этажами в системе переходов. Одним из возможных вариантов является установка перегородок под потолком нижнего этажа на краях проемов, что препятствует поступлению дыма в проемы. Высота таких перегородок должна составлять не менее 2 м, а «резервуары дыма» на нижнем этаже [23] должны быть снабжены вытяжной системой, соответствующей требованиям, приведенным в табл. 4.3.

Предполагается, что не более двух этажей могут быть связаны между собой открытыми участками без перекрытий.

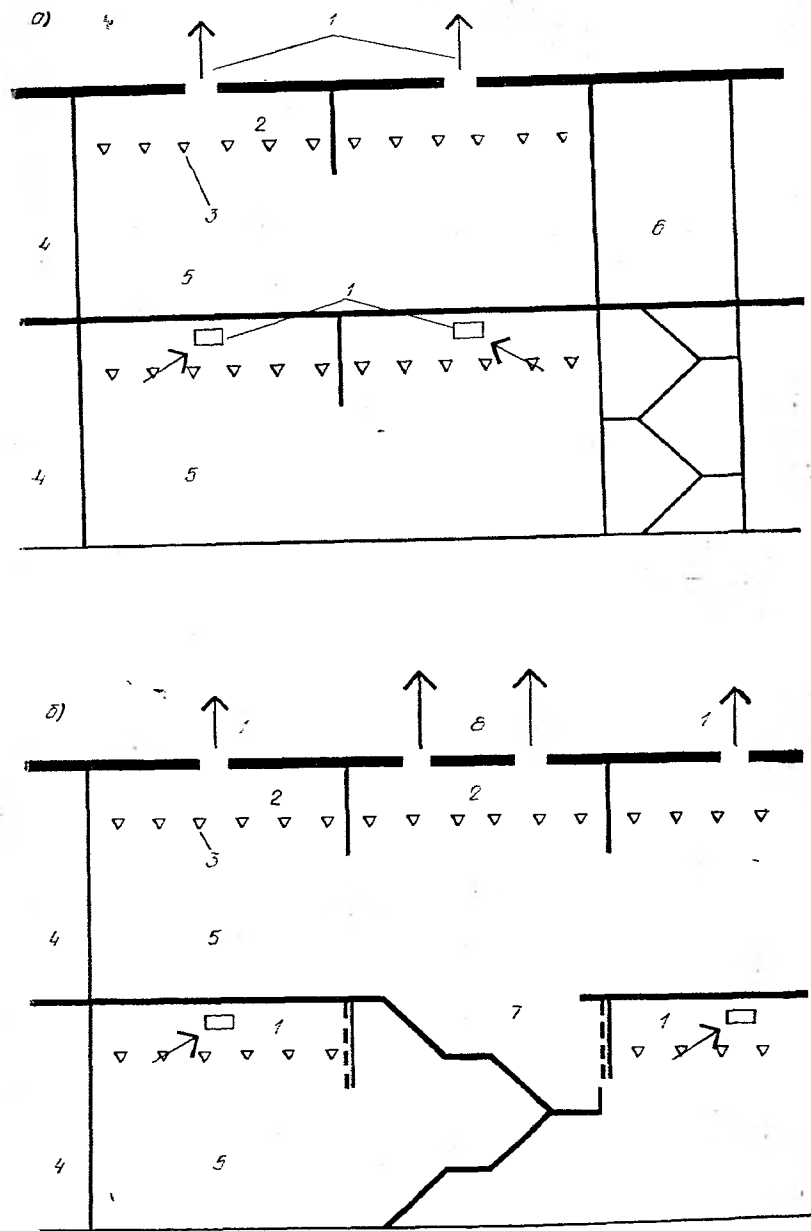


Рис. 4.8. Пожарная защита двухэтажных магазинов

а — двухэтажный магазин с изолированными этажами; защита дыма осуществляется так же, как и в одноэтажном магазине; б — двухэтажный магазин с открытой лестничной клеткой; требуется удалить повышенное количество дыма из открытой лестничной клетки, если не установлены перегородки, показанные штриховыми линиями: 1 — вытяжка; 2 — «резервуары дыма»; 3 — спринклеры; 4 — переход; 5 — торговый зал; 6 — закрытая лестничная клетка; 7 — открытая лестничная клетка; 8 — усиленная вытяжка

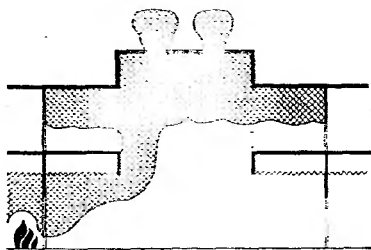


Рис. 4.9. Сгустки дыма на верхнем уровне в двухэтажном переходе

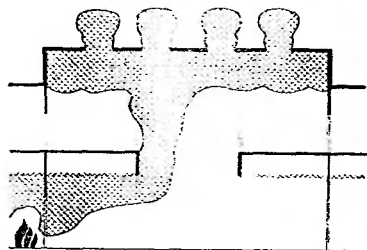


Рис. 4.10. Правильное проектное решение предотвращает неконтролируемое распространение дыма на верхнем уровне

Двух- или многоэтажные пешеходные переходы, полностью отделенные друг от друга огнестойкими ограждающими конструкциями. В этом случае основные правила проектирования системы противодымной защиты не отличаются от принятых для одноэтажного здания. Каждый этаж может рассматриваться отдельно как одноэтажный комплекс с соответствующими требованиями к проектированию «резервуаров дыма», системы удаления дыма и подачи воздуха. Различие заключается только в трудности вентилирования нижнего этажа для удаления дыма из его «резервуаров». Любая система удаления дыма должна быть спроектирована так, чтобы исключалась возможность попадания дыма с нижнего этажа на верхние этажи торгового зала и переходы или в близлежащие здания.

Двух- или многоэтажные пешеходные переходы с открытыми участками перекрытий. При таком конструктивном решении возникает ряд трудностей, связанных с противодымной защитой пешеходных переходов. Проблема заключается в том, что при распространении дыма из торгового зала в нижний переход возникает облако дыма, поднимающееся до верхнего этажа под действием потока воздуха, направленного вдоль нижнего перехода и вертикально вверх; при этом объем облака значительно возрастает. Некоторые эксперименты показали, что объем может возрасти в 10 раз, и если система противодымной защиты спроектирована неправильно, то очень большое количество дыма распространяется во все стороны, достигая пешеходных переходов на самом верхнем этаже и способствуя образованию сгустков дыма (рис. 4.9). При проектировании системы противодымной защиты необходимо обеспечить возможность удаления дыма, как показано на рис. 4.10. Поток дыма попадает из торгового зала в переход на нижнем этаже, затем через проемы в перекрытиях поднимается вверх, достигает «резервуара» под потолком и распространяется в стороны на верхнем этаже.

Пока еще проведено очень мало исследований по этому вопросу, и почти не имеется информации, необходимой для проведения точных расчетов при проектировании. Однако можно предложить принципиальную схему проектирования системы противодымной защиты для рассматриваемого случая:

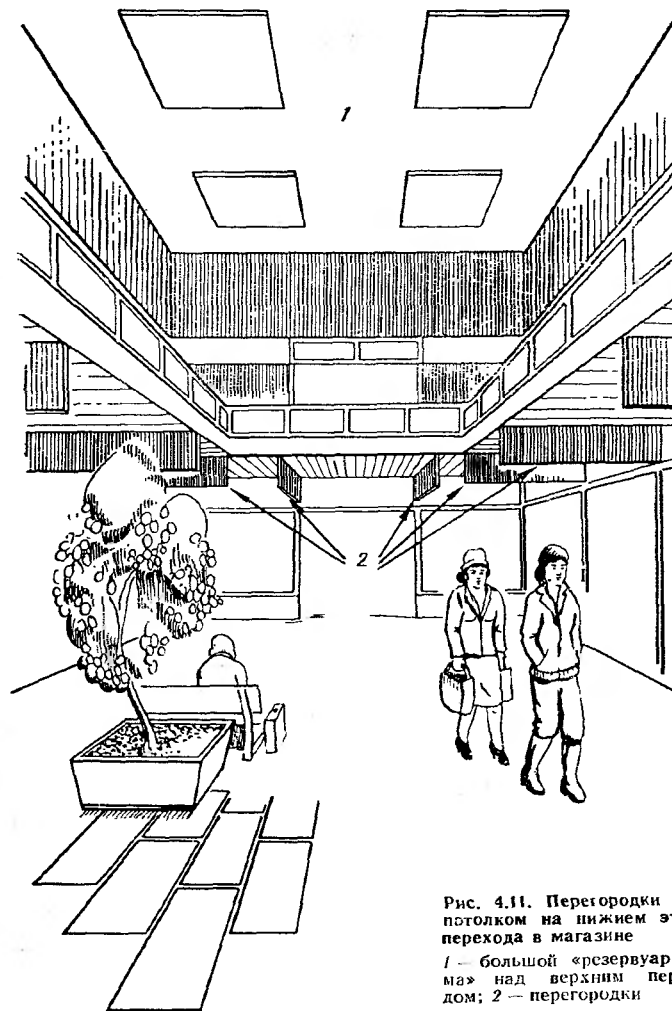


Рис. 4.11. Перегородки под потолком на нижнем этаже перехода в магазине
1 — большой «резервуар дыма» над верхним переходом; 2 — перегородки

а) «резервуары дыма» следует располагать в тех частях пешеходных переходов, где имеется жесткое перекрытие на высоте одного этажа. Требования при проектировании таких «резервуаров» и систем удаления дыма из них можно принимать в соответствии с приведенными выше таблицами, где содержатся данные для одноэтажных переходов;

б) на участках, где имеются проемы, непосредственно связывающие нижний пешеходный переход с верхними, рекомендуется для обеспечения надежной противодымной защиты придерживаться следующих правил:

ограничить опасные размеры облака дыма, поднимающегося через проемы в перекрытиях к верхним этажам. С этой целью

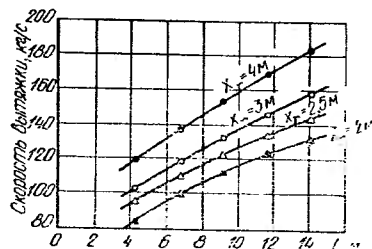


Рис. 4.12. Требуемая скорость вытяжки из переходов в магазинах с различной длиной фасадов (внутренняя длина 14 м; мощность пожара $Q = 5$ МВт; окружающая температура $T_0 = 15^\circ\text{C}$)

X — высота от верхнего этажа до основания слоя дыма; верхний этаж находится на 5 м выше нижнего; ширина разделительного занавеса должна составлять не менее 1,5 м; L — длина открытого фасада здания или расстояние между разделительными занавесами

магазинах дым может поступать к краю проема по каналу при соответствующем расположении перегородок, и объем дыма, который должен быть удален системой естественной или принудительной вентиляции, может быть найден по кривым [7], приведенным на рис. 4.12, и табл. 4.6. Если эти кривые не охватывают требуемого диапазона значений, то последние могут быть получены путем экстраполяции, а при необходимости — с помощью справочников [7];

в) другим способом является ограничение задымления с помощью занавеса или перегородок, подвешенных ниже края проемов, связывающих этажи; такие перегородки устанавливают в переходах на каждом этаже для ограничения дыма, поступающего в «резервуар» на этаже, где произошел пожар, и для вытяжки дыма из этого «резервуара». При таком способе снижается предельная требуемая мощность вытяжки и появляется возможность эксплуатации переходов более чем на двух этажах. Высота занавеса или стенок должна быть не менее 2 м, а требуемую мощность вытяжки рассчитывают так же, как для одноэтажных переходов [23];

г) очень важно, чтобы достаточное количество свежего воздуха подавалось на оба этажа. При определении требуемого количества свежего воздуха или площади приточных отверстий, обеспечивающих воздухообмен, можно принимать значения, установленные для одноэтажных переходов, с добавлением не менее 50% объема подаваемого воздуха или площади приточных отверстий. При проведении расчетов нужно рассматривать «резервуар дыма» над проемом перекрытий между первым и вторым этажами, если одинаковое количество воздуха поступает более чем в один проем, то необходимо включить в расчет тот участок, где имеется наибольшая площадь вентиляционных отверстий или мощность

вытяжных вентиляторов. Свежий воздух, поступающий в здание, должен быть распределен между двумя этажами так, чтобы большая часть воздуха подавалась в верхний этаж. Рекомендуется соотношение воздухообмена на верхнем и нижнем этажах принимать равным 3:2.

Подачу свежего воздуха на нижний этаж нужно осуществлять последовательно в каждый из двух связанных изнутри переходов; если источник снабжения воздухом отделен автоматически открывающимися дверьми или ставнями, то предполагается, что при возникновении пожара они открываются непосредственно на обоих этажах, даже если в начальной стадии пожара дым не распространяется в проемы перекрытий.

4.3.4. Проектирование отдельных элементов системы.

Взаимодействие между притоком воздуха (например, через дверь) и «резервуаром дыма» [18]. Давление в движущемся воздушном потоке на границе контакта с зоной неподвижного воздуха (дыма или газа) будет более низким, чем в неподвижном слое, — это так называемый «эффект Вентури». Таким образом движущийся воздушный поток вовлекает неподвижный воздух в струю потока по направлению движения. Степень вовлечения возрастает при повышении скорости воздушного потока. На рис. 4.13 показано, как поток чистого воздуха через дверь вовлекает дым в направлении своего движения. Основание «резервуара дыма» становится поверхностью постоянного давления, которое возрастает сверху вниз вблизи двери. Если основание «резервуара» недостаточно поднято над дверью (требуется не менее 1,5 м для создания достаточной безопасности движения в многоэтажном переходе), нижняя граница слоя дыма может оказаться ниже верхнего края дверного проема. Турбулентное движение на границе воздушного потока и дыма вызывает смешивание дыма с поступающим воздухом. В результате смесь дыма с воздухом будет распространяться через переход на нижний этаж здания.

При постоянном объеме поступающего воздуха в местах пересечения переходов объем воздуха возрастает, а скорость его движения снижается. На рис. 4.14 показан задерживающий дым занавес, расположенный у двери. Как видно на рисунке, нижний край занавеса приподнят выше двери. Воздушный поток возрастает в объеме по пути движения от двери к занавесу и медленно опускается вниз. В связи с этим возникает тенденция к понижению уровня основания слоя дыма. Турбулентное движение на границе слоя дыма и воздуха приводит к смешиванию потока воздуха с дымом и попаданию этой смеси на более высокие этажи.

Применение горизонтального канала (рис. 4.15) вместо занавеса позволяет осуществить такую же подачу воздуха и получить аналогичные результаты. В некоторых условиях высота от пола до нижнего среза канала (или до нижнего края занавеса) должна превышать 3 м; задний край канала (или занавес) должен находиться на расстоянии не менее 3 м от двери. Этот параметр полу-

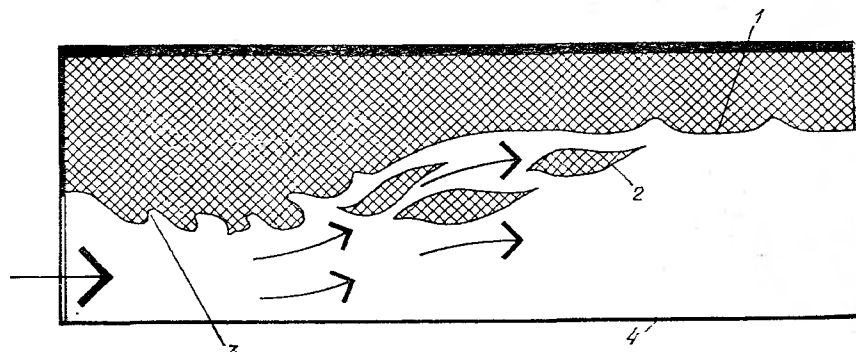


Рис. 4.13. Открывание двери для притока воздуха

1 — основание «резервуара дыма»; 2 — нижний уровень смешивания дыма с воздухом; 3 — участок турбулентного смешивания; 4 — пол или перекрытие

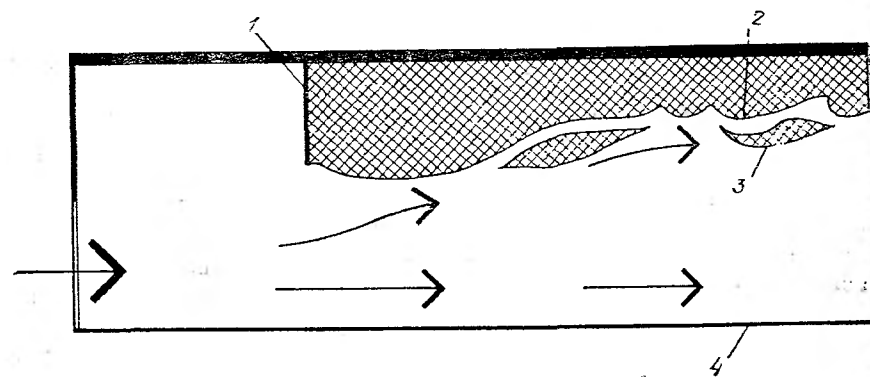


Рис. 4.14. Приток воздуха через открытую дверь при использовании занавеса, препятствующего распространению дыма

1 — занавес; 2 — основание «резервуара дыма»; 3 — смешивание воздуха с дымом происходит на большей высоте, чем показано на рис. 4.13; 4 — пол или перекрытие

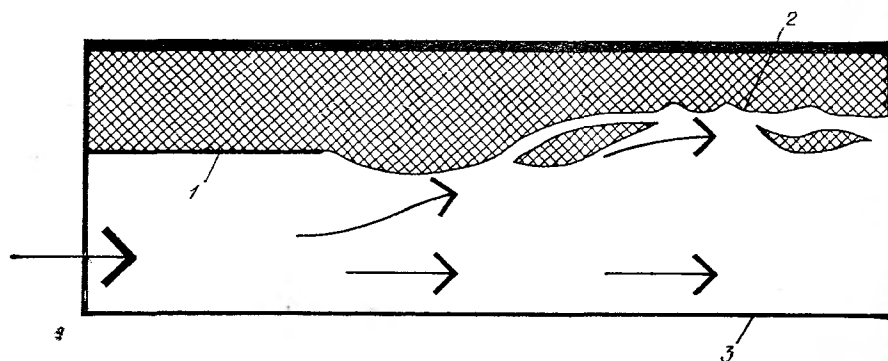


Рис. 4.15. Приток воздуха через открытую дверь при использовании канала, отделяющего воздушный поток от дыма

1 — канал; 2 — основание «резервуара дыма»; 3 — пол или перекрытие

чен экспериментальным путем и при необходимости может быть уменьшен.

Преимуществом обоих способов является снижение распыляющего эффекта при проникании наружного ветра внутрь «резервуара дыма» и особенно турбулентного перемешивания дыма с воздухом по поверхности их контакта.

Влияние ветра на удаление дыма. Многие идеи и предложения по планировке торговых комплексов основаны на применении естественной вентиляции для удаления дыма. На удаление дыма через вентиляционные отверстия может оказать влияние ветер, сила которого, в частности, зависит от наличия высоких зданий, расположенных по соседству. Эта проблема была рассмотрена в гл. 3, и приведенные там рекомендации могут также быть применены и здесь.

Основные предложения состоят в следующем:

а) удаление дыма через вентиляционные отверстия должно осуществляться по возможности в вертикальном направлении с устройством при необходимости соответствующей защиты от атмосферных воздействий;

б) следует избегать размещения вытяжных отверстий со стороны, примыкающей к высоким зданиям или к зданиям, возвышающимся над уровнем точки выброса;

в) вентиляционные отверстия не должны располагаться в вертикальных открытых наружных стенах, однако их можно размещать в толстых внутренних стенах лестничных клеток или аналогичных помещений, защищенных от воздействия ветра.

Число исследований [19], посвященных давлению ветра при примыкании высоких зданий к зданиям с плоскими крышами, продолжает возрастать, однако число возможных форм зданий столь велико, что вряд ли можно ожидать появления какого-нибудь одного основного принципа, отличающегося от приведенных выше. Неблагоприятные ветровые условия не только нарушают нормальный поток воздуха, но могут оказать отрицательное влияние на работу системы противодымной защиты. Иногда приходится рассматривать внутренние факторы, действующие в пределах здания, особенно там, где большие массы воздуха могут перемещаться в случайном направлении.

Подземная железная дорога может служить примером, когда нормальная работа системы включает эффект сжатия большого количества воздуха, движущегося в обоих направлениях. Например, если открытый торговый комплекс системой противодымной защиты имеет проем, непосредственно связывающий торговый зал с находящимся под ним главным вестибюлем подземной станции, то движение поездов, вызывающее незапланированное перемещение больших масс воздуха, может очень сильно повлиять на систему противодымной защиты и полностью разрушить присущие ей функции (рис. 4.16). В таких случаях помещение, подвергющееся воздействию больших масс воздуха, должно быть отделено от системы противодымной защиты торгового центра. Необходимо

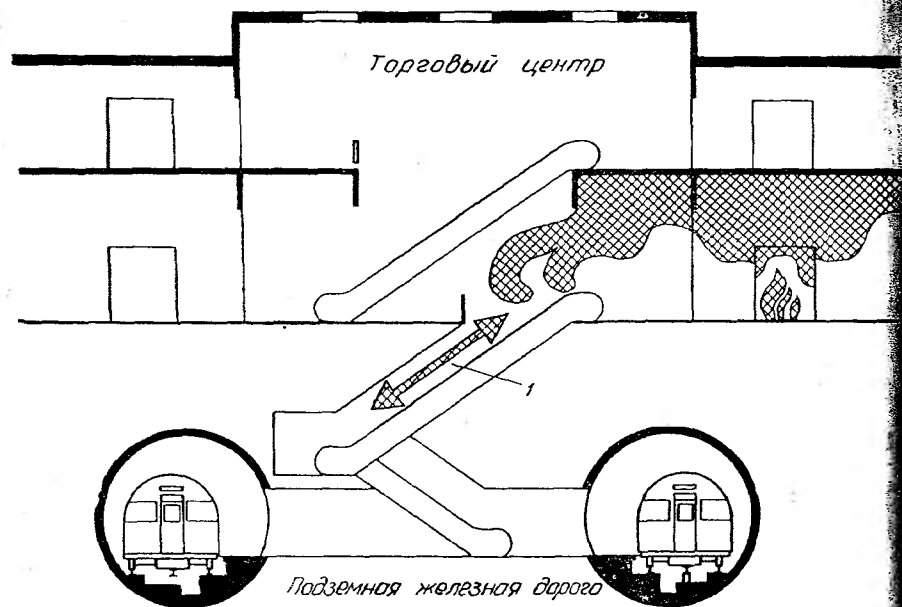


Рис. 4.16. Пример неконтролируемого движения воздуха, нарушающего работу системы противодымной защиты
1 — при движении воздуха вверх или вниз может возникнуть поток дыма из «резервуара» наружу

отметить, что описанные внешние воздействия будут оказывать неблагоприятное влияние как на механическую систему удаления дыма, так и на систему естественной вентиляции.

Воздушный занавес. Авторы настоящей работы предложили использовать воздушный занавес для предотвращения распространения дыма из одной части торгового комплекса в другую. Однако применение такого занавеса не исключает возможности попадания дыма на нижний этаж перехода или торгового зала при значительном дымовыделении. Поэтому предполагается, что в торговых залах и переходах, оборудованных одной из систем противодымной защиты, описанных в данной главе, воздушный занавес будет отключен при работе системы противодымной защиты в аварийном режиме.

Поток дыма под потолком перехода (или коридора). При рассмотрении противодымной защиты в ситуациях, описанных в данной главе, иногда возникает необходимость оценить скорость распространения слоя дыма в стороны при отсутствии принудительной или естественной вентиляции. Решить трехмерную задачу радиального распространения дыма в пространстве при формировании во время пожара облака дыма и горячих газов под потолком очень трудно, однако более простой случай двухмерного движения дыма под потолком коридора уже достаточно изучен, и получен-

ные результаты можно использовать при проектировании системы противодымной защиты.

Хинкли [2] на основе экспериментов предложил теорию движения горячих газов вдоль коридора (или перехода). Он сделал предположение, что основной частью облака дыма является нагретый воздух, попадающий в восходящий поток горячих газов над огнем, и что эффектом диффузии, связанным с различием состава облака горячих газов и нижележащего слоя холодного воздуха, можно пренебречь. Хинкли рассмотрел случай, когда горячие газы движутся вдоль коридора только в одном направлении. Практически горячие газы распространяются в двух направлениях от места возникновения пожара, и при отсутствии сквозняков можно считать, что на каждое направление приходится половина всего потока газов.

Скорость движения газов в слое будет зависеть от их плавучести, трения, сил инерции, возникающих при перемешивании с холодным воздухом, и, наконец, вязкости. Хинкли предположил, что вязкость можно не принимать во внимание, а стандартный поток представляет собой устойчивую систему, для решения которой можно применять числа Фруда, представляющие собой отношение сил инерции к плавучести. Аналогичным образом можно оценить усилия трения и передачу кинетической энергии при смешивании с воздухом. Развивая свою теорию в рассмотренном направлении, Хинкли получил следующее уравнение для определения средней скорости движения дыма под потолком в переходе

$$\bar{v} = 0,8 \left(\frac{g Q T_c}{C_p P_a T_a^2 W} \right)^{1/4}, \quad (4.1)$$

где $\bar{v}$ — средняя скорость движения слоя газа; g — ускорение свободного падения, равное 981 см/с²; Q — теплота, выделяемая при пожаре; T_c — абсолютная температура газов под потолком; T_a — абсолютная температура воздуха в нижней части перехода; C_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, равная 1000 Дж/(кг·°C); P_a — плотность холодного воздуха, равная 1,2 кг/м³ при 20°C; W — ширина коридора; 0,8 — эмпирический коэффициент.

Приведенное уравнение дает среднюю скорость движения слоя дыма; скорость на переднем крае слоя ниже средней и продолжает уменьшаться при удалении облака дыма от пожара, так как газы остывают. Вначале дым движется под потолком, не смешиваясь с нижележащим слоем воздуха, несмотря на некоторое проникание дыма внутрь слоя воздуха в передней части. Скорость движения в передней части слоя дыма убывает пропорционально его охлаждению, при этом толщина слоя увеличивается, так как количество газов остается неизменным. Рассмотрение этого явления позволяет сделать следующие выводы:

а) скорость распространения облака дыма лишь в незначительной мере зависит от количества воздуха, поступившего при пожаре (т. е. от периметра пожара), но прямо пропорциональна кубическому корню из количества тепла, выделившегося при пожа-

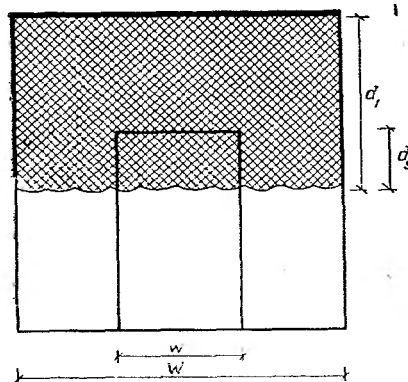


Рис. 4.17. Схема обозначений, использованных в выражении (4.3)

ре, и обратно пропорциональна кубическому корню из ширины перехода;

б) толщина слоя дыма в переходе заданной высоты прямо пропорциональна периметру пожара и обратно пропорциональна произведению скорости движения слоя и ширины перехода;

в) когда развитие пожара достигает критического уровня, при котором слой горячих газов занимает половину высоты перехода, поток дыма вблизи огня становится неустойчивым и на уровне основания могут возникать сгустки дыма;

г) даже когда пожар еще не достиг критического уровня, передняя часть облака дыма может начаться некоторое смешивание горячих газов с холодным воздухом, движущимся по направлению к огню; таким образом, слой дыма будет становиться толще.

Сделанные выводы относятся к движению дыма вдоль коридоров или переходов, в которых нет неровностей или препятствий. Морган [20] разработал теорию движения дыма с учетом препятствий в коридоре и вывел следующее уравнение:

$$\bar{v} = 0,96 \left(\frac{g Q T_c}{K^1 C_p P_a T_o^2 W} \right). \quad (4.2)$$

где K^1 — коэффициент скорости нарастания давления, зависящий от наличия препятствий в переходе.

При движении дыма в коридоре, имеющем в торце дверь меньшей площади, чем площадь сечения коридора, значение коэффициента K^1 , как показал Морган, может быть найдено с помощью следующего выражения:

$$K^1 = \frac{d_1}{C_p d_s} \left[\left(\frac{W d_1}{w C_t d_s} \right)^2 - 1 \right], \quad (4.3)$$

где C_p — коэффициент расхода, а все остальные буквенные обозначения показаны на рис. 4.17.

Если дверь имеет высоту, равную высоте перехода, выражение для определения K^1 упрощается:

$$K^1 = [(W/w)^2 - 1]. \quad (4.4)$$

При незначительных препятствиях потоку дыма (например, повороты коридора) значение K^1 может быть получено на основе применения к коридору известной теории течения жидкости в трубах [21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Home Office. (1972). Fire precautions in town centre developments. Fire Prevention Guide No. 1, London, HMSO.

2. Hinkley, P. L. (1970). The flow of hot gases along an enclosed shopping mall. A tentative theory. Fire Research Note No. 807, Fire Research Station, Borehamwood, England.

3. Hinkley, P. L. (1971). Some notes on the control of smoke in enclosed shopping centres. Fire Research Note No. 875, Fire Research Station, Borehamwood, England.

4. Phillips, A. M. (1971). Smoke travel in shopping malls: Model studies Part 1. Rates of lateral spread. Fire Research Note No. 864, Fire Research Station, Borehamwood, England.

5. Heselden, A. J. M., Wraight, H. G. H. and Watts, P. R. (1972). Fire problems in pedestrian precincts. Part 2. Large scale experiments. Fire Research Note No. 964, Fire Research Station, Borehamwood, England.

6. Wraight, H. G. H. (1973). Fire problems in pedestrian precincts. Part 4. Experiments with a glazed shop front. Fire Research Note No. 997, Fire Research Station, Borehamwood, England.

7. Morgan, H. P. and Marshall, N. R. (1975). Smoke hazards in covered multi-level shopping malls. Part 1. An experimentally based theory for smoke production. Building Research Establishment Current Paper 48/75, Fire Research Station, Borehamwood, England.

8. Thomas, P. H., Hinkley, P. L., Theobald, C. R. and Simms, D. L. (1963). Investigations into the flow of hot gases in venting. Fire Research Technical Paper No. 7, London, HMSO.

9. Morgan, H. P., Marshall, N. R. and Goldstone, Mrs B. M. (1976). Smoke hazards in covered multi-level shopping malls. Some studies using a model 2-storey mall. Building Research Establishment Current Paper 45/76. Fire Research Station, Borehamwood, England.

10. Hinkley, P. L. (1975). Work by the Fire Research Station on the control of smoke in covered shopping centres. Building Research Establishment Current Paper 83/75, Fire Research Station, Borehamwood, England.

11. B. R. E. Digest 173 (1975). Smoke control in single-storey shopping malls. Building Research Establishment, Fire Research Station, Borehamwood, England.

12. National Fire Protection Association (1959). Operation school burning. Official report on tests conducted by the Angeles Fire Department.

13. D'Auria, C. (1973). Protection against fire in garages. Anticendio e Protezione Civile 9/73. 640—642. Fire Research Station Library Translation No. 328 (1974), Borehamwood, England.

14. Bullen, M. L. (1974). Effect of a sprinkler on the stability of a smoke layer beneath a ceiling. Fire Research Note No. 1016, Fire Research Station, Borehamwood, England.

15. Morgan, H. P. (1977). Heat transfer from a buoyant smoke layer beneath a ceiling to a sprinkler spray. Fire Research Note No. 1069. Fire Research Station, Borehamwood, England.

16. Spratt, D. and Heselden, A. J. M. (1974). Efficient extraction of smoke from a thin layer under a ceiling. Fire Research Note No. 1001. Fire Research Station, Borehamwood, England.

17. Heselden, A. J. M. (1977). Private communication.

18. Heselden, A. J. M. (1977). Private communication.

19. B. R. E. Annual Report (1975). Page 39. Building Research Establishment, Garston, England.

20. Morgan, H. P. (1977). The flow of buoyant fire gases beneath corridor ceilings. Fire Research Note No. 1076, Fire Research Station, Borehamwood, England.

21. I. H. V. E. Guide (1970). Vol. C: Published by The Chartered Institution of Building Services (previously the Institution of Heating and Ventilating Engineers), London.

22. Fire Prevention. No. 93. December, 1971.

23. Morgan, H. P. and Marshall, N. R. (1978). Smoke hazards in covered, multi-level shopping malls: a method of extracting smoke from each level separately. Building Research Establishment Current Paper 19/78. Fire Research Station, Borehamwood, England.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДПОРА ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обычно при проектировании зданий с учетом противопожарных требований исходят из того, что пожар будет ограничен пределами огнестойкого помещения и противодымная защита этой части здания может осуществляться способами, рассмотренными в гл. 3. При эвакуации из здания люди будут двигаться по направлению к двери, ведущей в защищенную часть эвакуационных путей — в коридор, вестибюль или лестничную клетку. Ограждающие конструкции этой части путей эвакуации и дверь из помещения, охваченного огнем, должны быть огнестойкими. Таким образом, под названием «защищенная часть путей эвакуации» подразумевают их полную конструктивную изолированность от воздействия пожара.

Пространство, в котором передвигаются люди внутри путей эвакуации до достижения конечной безопасной точки, не должно быть ограничено по высоте, так как им могут воспользоваться люди, находящиеся в части здания, не охваченной пожаром. Кроме того, эта часть путей эвакуации должна оставаться пригодной для эвакуации в течение относительно длительного периода развития пожара, т. е. дым не должен проникать совсем или поступать лишь в минимальных количествах внутрь защищенного пространства. Однако в составе ограждающих конструкций, отделяющих площадь пожара от защищенных путей эвакуации, обычно имеется дверь с зазорами достаточной длины для пропуска дыма внутрь путей эвакуации; кроме того, эта дверь время от времени открывается. Таким образом, дым почти всегда проникает в защищенные пути, в связи с чем необходимо уменьшить количество и плотность проникающего внутрь дыма до уровня, при котором сохраняется достаточная видимость и не создается токсической опасности внутри эвакуационных путей. Для обеспечения нормальных условий эвакуации достаточно обеспечить видимость на расстоянии 5 м.

Действующие нормы и правила устанавливают ряд рекомендаций для оценки защиты от дыма на лестничных клетках и площадках и в некоторых случаях в коридорах, представляющих собой защищенные пути эвакуации. Требования к системам естественной вентиляции имеют свою специфику; требования к механическим системам вентиляции, применяемым для противодымной защиты, до настоящего времени не отличались от общепринятых, однако в новом стандарте [1] приведены очень точные рекомендации по их проектированию.

5.2. ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Когда ограничение распространения дыма в эвакуационных путях предполагают осуществлять с помощью естественной вентиляции, то исходят из местных климатических условий, определяю-

щих неизбежное движение воздуха. Причинами движения выделившегося при пожаре дыма внутри здания могут быть следующие факторы:

собственная плавучесть дыма;
движение воздуха в здании под воздействием атмосферных условий (ветер и разность температур внутри и снаружи здания);
движение воздуха, вызванное механической вентиляцией или системой кондиционирования.

Первый фактор — плавучесть дыма — почти всегда (см. рис. 2.6) служит причиной распространения дыма внутри путей эвакуации (т. е. на лестничных клетках, площадках и в коридорах), причем при удалении от источника пожара скорость движения дыма уменьшается в связи с его охлаждением.

Второй фактор — атмосферные условия — может препятствовать или сводить к минимуму распространение дыма в здании с естественной вентиляцией путей эвакуации. Этот фактор непредсказуем и не поддается контролю. Оценка имеющихся данных показывает, что в большом числе случаев (до 25%) движение воздуха, вызванное ветром, будет значительно слабее адекватного движения при поступлении свежего воздуха в здание через глухие или открываемые окна, в результате чего дым разбавляется и в достаточной степени удаляется из здания. Исследования [2], проведенные Пожарной исследовательской станцией, показали, что для обеспечения противодымной защиты недостаточно вентиляции в одной из наружных стен (лестничная клетка или вестибюль), даже при высокой скорости ветра, а смешанная вентиляция (т. е. открывание окон в противоположащих наружных стенах) более эффективна, если противодымная защита осуществляется с помощью естественной вентиляции. Но необходимая скорость ветра в нужном направлении имеется лишь в отдельные промежутки времени.

Применение ленточных открывающихся окон для удаления дыма из эвакуационных путей здания также подвергалось критике, поскольку неизвестно, когда и кто их будет открывать. Люди, находящиеся на путях эвакуации, из-за дыма могут не суметь открыть окна и, кроме того, будут стремиться скорее покинуть здание. С другой стороны, если ждать, что окна откроет вызванная пожарной командой, можно оказаться в ситуации, когда эвакуироваться уже слишком поздно. Отсюда следует, что для успешной противодымной защиты при системе естественной вентиляции необходимо применять постоянно открытые проемы (т. е. смешанную вентиляцию) и учитывать соответствующие требования норм и стандартов. Однако устройство таких отверстий может создать для людей весьма некомфортабельные условия и привести к отрицательному эффекту, поскольку некоторые люди попытаются их закрыть по собственной инициативе, не понимая, что эти отверстия обеспечивают им безопасность. Кроме того, устройство таких отверстий противоречит требованиям экономии энергии и температурного контроля. Ущерб от самовольного закрывания постоянных вентиляционных отверстий легко предсказуем и может быть

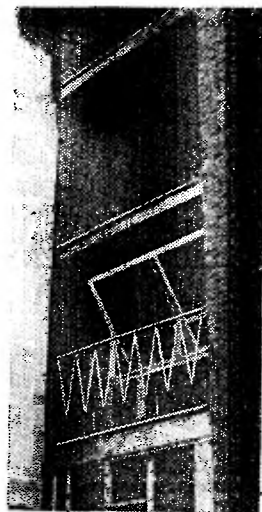
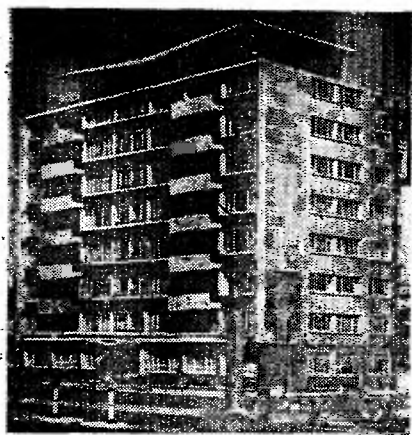


Рис. 5.1. Здание, в котором автоматически открываемые окна применяются как вариант постоянной вентиляции
слева — общий вид здания; справа — автоматически открываемое окно; на следующем этаже показаны проемы с постоянными вентиляционными отверстиями

значительно снижен при оборудовании проемов окнами или ставнями, закрытыми при обычных условиях, но автоматически открывающимися при появлении дыма у дверей, ведущих к эвакуационным путям. Такой прием может быть реализован с помощью опускающихся оконных рам или окон, вращающихся на горизонтальной оси; в обоих случаях окна удерживаются в закрытом состоянии с помощью электромагнитной системы и немедленно падают вниз или поворачиваются внутрь помещения при обнаружении дыма или в случае отказа системы управления (например, при аварии). Пример конструкции такого окна показан на рис. 5.1 [3].

5.3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Если обеспечение эффективной защиты от дыма при естественной вентиляции становится затруднительным, то нужно рассмотреть возможность применения механической вентиляции. При необходимости сохранить пути эвакуации свободными от дыма использование вытяжной системы с механическим приводом не дает удовлетворительных результатов, поскольку такая система хотя и удаляет дым, попавший на пути эвакуации, вместе с тем создает разрежение на лестницах, в вестибюлях и коридорах. Вследствие этого дым вовлекается на пути эвакуации, и видимость снижается быстрее, чем происходит процесс удаления дыма вытяжной системой (рис. 5.2).

Единственной удовлетворительной системой является та, которая полностью предотвращает попадание дыма на пути эва-

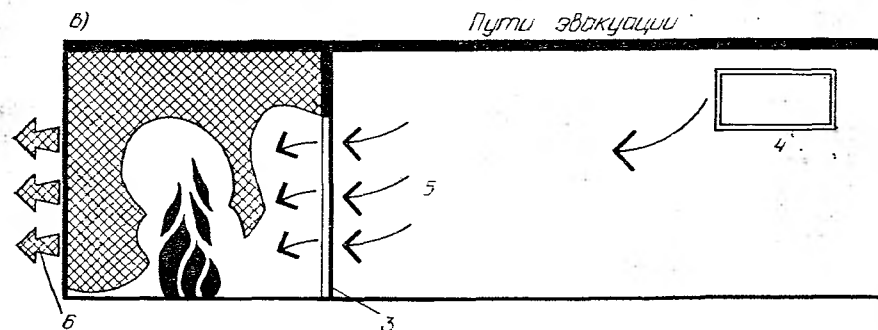
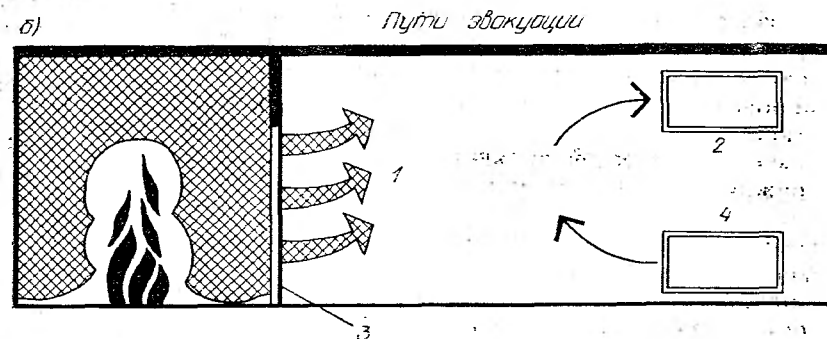
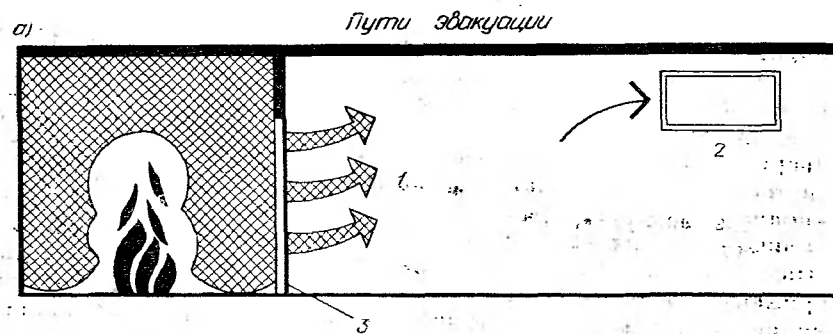


Рис. 5.2. Механическая вентиляция и движение дыма

а — только вытяжка: дым поступает на пути эвакуации; б — вытяжка и подача воздуха: дым медленно поступает на пути эвакуации; в — только подача воздуха: дым не поступает на пути эвакуации; 1 — дым, выделившийся при пожаре; 2 — вытяжка воздуха; 3 — дверь на эвакуационный путь; 4 — приток воздуха; 5 — поток свежего воздуха через дверь в помещении, где произошел пожар; 6 — выход дыма в атмосферу

куации; такой эффект может быть получен при создании адекватного потока свежего воздуха, выносящего дым и горячие газы из путей эвакуации. При этом свежий воздух подают в лестничную клетку или вестибюль (или в оба помещения сразу) через двери, щели или специально предусмотренные отверстия. Такую систему обычно называют системой «избыточного давления» или «подпора воздуха», поскольку с помощью подачи необходимого количества воздуха давление на путях эвакуации поднимается выше, чем в других частях здания. Нормы и правила рекомендуют применять этот метод вместо использования естественной вентиляции, и недавно были выпущены практические требования по его применению [1].

5.4. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПОДПОРА ВОЗДУХА

Идея использования системы подпора воздуха (избыточного давления) в здании основана на создании целенаправленного потока воздуха и не является совершенно новой. Во время второй мировой войны она применялась в некоторых зданиях для предотвращения попадания в помещения отравляющих газов или бактериологической водяной пыли при использовании подобного оружия противником. В мирное время подпор воздуха применяют для предотвращения попадания пыли в воздух производственных помещений; такая система позволяет ограничить площадь заражения при удалении из зданий радиоактивного газа или пыли. Подпор воздуха используют также в госпиталях для обеспечения соответствующих атмосферных условий в операционных залах.

Изучив результаты применения подпора воздуха по данным 1950 г. и опыт проектирования герметизированных помещений в зданиях, Халл (Пожарная инспекция) в 1961 г. сделал предположение, что рассмотренный метод может применяться для ограничения движения дыма при пожаре. Через год или два он сумел реализовать эту идею в проекте правительственного здания. Примерно в то же время аналогичные идеи возникли в Австралии, и когда в 1957 г. была принята поправка к закону о высоте зданий, снимающая имевшиеся ранее ограничения [4], в практические требования к возведению зданий включили три возможных метода противодымной защиты лестничных клеток: устройство балконов, доступ к вестибюлям и применение подпора воздуха. По-видимому, это первое официальное упоминание о применении подпора воздуха для защиты зданий от пожара.

Через несколько лет после опубликования данных о применении подпора воздуха при пожаре в зданиях был проведен ряд научных исследований и появилась информация об эффективности этой системы, что способствовало пробуждению во всем мире интереса к использованию данного способа.

5.4.1. Испытания, проведенные в Великобритании.

Универсальный магазин. В 1964 г. на Пожарной исследовательской станции были проведены исследования возможности при-

менения подпора воздуха для ограничения движения дыма в зданиях [5]. Для этой цели фирмой «Маркс и Спенсер» в распоряжение станции было предоставлено новое трехэтажное здание универсального магазина. В универсаме имелась закрытая лестничная клетка, соединяющая все три этажа. Двери на каждом этаже соединяли лестничную клетку с прилегающими помещениями. Единственный вентилятор производительностью 1400 л/с, установленный на лестничной клетке на втором этаже на уровне роста человека, применялся для создания подпора воздуха. Маленькие комнаты на первом и втором этажах использовались в качестве задымляемых комнат во всех четырех испытаниях.

Для генерирования дыма применялась специально спроектированная аппаратура, в которой контролировались процесс горения и количество дыма, выделяемое различными целлюлозными материалами. Результаты испытаний показали, что количество и температура дыма, выделяемого генераторами, ниже, чем при реальном пожаре, но количества теплого дыма достаточно, чтобы провести эксперименты и создать условия, близкие к выделению дыма на ранней стадии пожара. Было проведено четыре испытания с теплым дымом, причем в двух случаях в лестничных клетках создавался подпор воздуха, а в двух других случаях вентиляторы не применялись. В каждом испытании дым генерировался вначале на первом, а затем на втором этаже. В двух испытаниях, где вентиляторы не применялись, дым поступал через дверь из задымляемой комнаты на лестничную клетку. Несмотря на ограниченное количество дыма, уже через 10—20 мин невозможно было находиться в части лестничной клетки. Если дверь из задымляемой комнаты на лестничную клетку открыта, поступление дыма становится значительным, и он быстро заполняет лестничную клетку и лестничные площадки, а затем проникает через закрытые двери, распространяясь по другим помещениям. Открывание вентиляционных отверстий в верхней части лестничной клетки оказалось неэффективным для удаления дыма, поэтому включать в строительные нормы требования по устройству таких отверстий нецелесообразно.

В двух испытаниях, где в закрытой лестничной клетке создавался подпор воздуха, этот подпор варьировался таким образом, что некоторые способы противодымной защиты могли быть реализованы при минимальном избыточном давлении, т. е. давлении, при котором дым не проходит через зазоры в дверном проеме. Было установлено, что избыточного давления 5 Па достаточно для предотвращения проникания дыма через зазоры в дверном проеме. Кроме того, выяснилось, что при таком избыточном давлении дым не успевает распространиться на лестничную клетку при кратковременном открывании двери, необходимом для прохода через нее человека.

Проведенные эксперименты позволили сделать вывод, что избыточного давления 12,5 Па на путях эвакуации достаточно для предотвращения попадания дыма в это пространство и кратко-

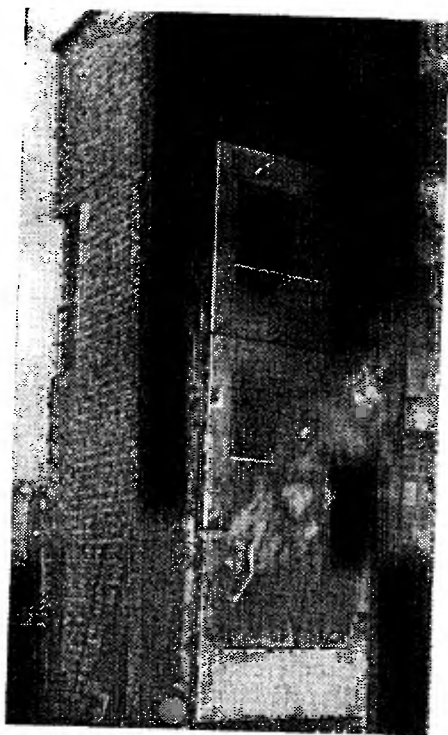


Рис. 5.3. Здание в Борхемвуде, в котором проводились пожарные испытания с подпором воздуха

временное открывание других дверей (не считая ведущих в горящее помещение) не вызывает никаких отрицательных последствий, снижающих общую эффективность системы подпора воздуха. При таком уровне избыточного давления не удается полностью предотвратить попадание дыма в лестничную клетку, когда дверь из задымляемой комнаты на лестницу открыта. Испытания также наглядно продемонстрировали эффективность работы системы подпора воздуха: дым, попавший на пути эвакуации при открытой двери из задымляемой комнаты, удаляется в относительно короткое время после того, как дверь снова будет закрыта.

Пожарная исследовательская станция. Исходя из результатов предварительных исследований, описанных выше, на Пожарной исследовательской станции в Борхемвуде была проведена серия испытаний по применению подпора воздуха в четырехэтажном экспериментальном здании (рис. 5.3), находившемся в распоряжении

станции [6]. В здании имелась лестничная клетка, связанная на каждом этаже с вестибюлем. В этих испытаниях для создания подпора воздуха в лестничной клетке (представляющей собой эвакуационный путь) использовали два вентилятора, объединенных в общую систему каналом, подающим воздух на лестничную клетку на уровне каждого этажа. Вентиляторы могут работать по отдельности или одновременно. В качестве источника дыма в этих испытаниях был использован костер из дров, сложенный в маленькой комнате, примыкающей к лестничной клетке на первом этаже. Пожарная нагрузка составила 30 кг/м^2 , а оконные проемы имели такой размер, что нагрузка на единицу площади вентиляционных отверстий равнялась 220 кг/м^2 . Пожарная нагрузка легко может быть определена для жилых домов, контор, гостиниц и т. п.

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов. Вначале измеряли давление, развивающееся при пожаре. Эти измерения проводили на уровне верха стандартной двери, т. е. на высоте 2 м от уровня пола. Ожидалось, что давление будет зависеть от температуры в горящем помещении; в условиях эксперимента давление при пожаре достигло предельного значения

6 Па. Однако выяснилось, что кроме температуры на давление влияет и другой фактор — положение нейтральной плоскости. Его можно менять, изменяя положение и размеры проемов в помещении. Например, большое отверстие у низа двери понижает уровень нейтральной плоскости и тем самым повышает давление у верха двери.

На втором этапе испытаний в течение шести зимних месяцев изучали различные разности давлений, которые могут возникнуть при неблагоприятных атмосферных условиях. Было установлено, что максимальная разность давлений между задымляемой комнатой и лестничной клеткой, обусловленная атмосферными условиями, составила 12,5 Па. Аналогичные результаты были получены и в других работах, где для десятиэтажного здания при скорости ветра 32 км/ч разность давлений у двери между комнатой и коридором, как правило, составляла 2,5—5 Па. Таким образом, можно сделать вывод, что разность давлений, обусловленная атмосферными условиями, может превышать давление, развивающееся при пожаре, и чтобы перекрыть это превышение с запасом, как правило, достаточно создать избыточное давление 25—50 Па.

На третьем этапе испытаний определяли расходы воздуха, который необходимо подать на лестничную клетку или в другие закрытые помещения для создания в них соответствующей разности давлений у дверей. Если рассматривать обычную дверь, т. е. конструкцию с зазорами шириной 3 мм по контуру, то площадь зазоров у стандартной одностворчатой двери составит 130 см^2 . Измерения и расчеты показали, что при прохождении через дверь воздушного потока со скоростью 75 л/с создается разность давлений 50 Па. Это означает, что количество воздуха, которое необходимо подавать на эвакуационные пути для создания в них подпора воздуха, относительно невелико, и основные исследования должны быть направлены на получение детальной информации о воздухопроницаемости различных элементов здания.

На четвертом этапе испытаний изучалась эффективность системы подпора воздуха для противоподымной защиты. Если на первых стадиях работы для выделения дыма применяли генераторы, то на решающих, конечных стадиях испытаний дым получали с помощью костров, сложенных в небольших комнатах. При проведении таких испытаний с закрытой дверью между помещением, где развивается пожар, и лестничной клеткой без использования подпора воздуха было установлено, что в течение 11 мин образуется густое облако дыма и помещение становится непригодным к эксплуатации. Через 18 мин пламя проникло в лестничную клетку, а через 25 мин после начала пожара контрольная дверь оказалась полностью уничтоженной. Когда аналогичные испытания были повторены в здании, выполненном из таких же конструкций (огнестойкая дверь, рассчитанная на сопротивление огню в течение 80 мин), при одинаковом пожаре, но с применением в лестничной клетке избыточного давления 50 Па, дым не проник в лестничную клетку в течение всего периода испытаний, длившегося

50 мин. В течение этого периода в лестничной клетке был отмечен лишь незначительный рост температуры, и, несмотря на то что края черного полотна были охвачены огнем, о чем свидетельствует значительная деформация, огонь за 50 мин не проник внутрь лестничной клетки.

Результаты пятого и последующих этапов испытаний были опубликованы в сборнике [7] в 1969 г. На этих этапах исследовали, как влияет открывание двери между помещением, где развивается пожар, и помещением с избыточным давлением. Испытания проводили аналогично описанным выше при закрытой лестничной клетке и различной степени открывания двери, ведущей в охваченное огнем помещение. Результаты испытаний при отсутствии или наличии избыточного давления 50 Па в лестничной клетке сопоставляли с результатами, полученными в тех же условиях при полностью закрытой двери в горящее помещение. Фотографии, сделанные во время этих испытаний, показали, что применение подпора воздуха является эффективным средством от проникания дыма в лестничную клетку даже при открытой двери из охваченного огнем помещения.

Проведенные испытания позволили также сделать дополнительный важный вывод, что создание подпора воздуха не только является удовлетворительным и практически применимым способом противодымной защиты, но также повышает огнестойкость двери между горящим помещением и лестничной клеткой [6].

5.4.2. Теоретические исследования движения дыма. В связи с большим числом типов зданий, условий их эксплуатации и разнообразием видов пожаров не представляется возможным экспериментально изучить поведение дыма в каждом случае. Поэтому пришлось обратиться к теоретическим исследованиям движения дыма в конкретных, практически возможных ситуациях. Имеющаяся вычислительная техника позволяет провести такие исследования, и главная трудность заключается в установлении точных параметров температуры воздуха, скорости потока и давления при каждом виде пожара. В ряде работ [8—13] приведены программы для ЭВМ, позволяющие наблюдать за развитием пожара при испытаниях с небольшим числом приборов, однако для больших зданий со сложным планом, оборудованных системой подпора воздуха, такие программы еще не разработаны. Во всяком случае, программы для ЭВМ являются инструментом, позволяющим в значительной мере оценить эффективность и ограниченность системы подпора воздуха.

5.4.3. Создание подпора воздуха. Пожарная исследовательская станция Научно-исследовательской ассоциации по отоплению и вентиляции (в настоящее время Научно-исследовательская ассоциация коммунального хозяйства и информации) в Брекнеле провела ряд испытаний, посвященных проблеме создания в зданиях подпора воздуха.

При проведении этих испытаний рассматривались следующие вопросы:

1) воздействие давления снаружи и внутри здания, которое может оказывать влияние на движение воздуха и, следовательно, на эффективность системы подпора воздуха;

2) влияние системы механической вентиляции, не являющейся системой подпора воздуха, на перемещение воздуха внутри здания;

3) определение зависящих от конструкции здания расходов воздуха, необходимых для создания требуемого избыточного давления;

4) оптимальное проектирование распределения воздуха в зависимости от системы подпора воздуха;

5) надежность системы подпора воздуха.

При изучении двух первых вопросов использовались теоретические методы с применением вычислительной техники. Информация по третьему вопросу была собрана по опубликованным материалам, а для измерения характеристик расходов воздуха в зданиях были проведены дополнительные испытания. Два последних вопроса посвящены технологическому и экономическому аспектам распределения воздуха для создания системы подпора воздуха на путях эвакуации. Результаты этого исследования, которое является одним из наиболее исчерпывающих, изложены в сообщении П. Дж. Хобсона и Л. Дж. Стюарта [14], а основные направления дальнейших исследований рассмотрены ниже.

В сообщении рассмотрены четыре главных фактора, влияющих на перемещение воздуха в пределах здания: ветер, естественная тяга, механическая вентиляция и пожар. Результаты работы позволяют сделать вывод, что давление воздуха, возникающее под влиянием атмосферных условий, естественной тяги и пожара, можно противопоставить давлению, вызванному работой системы механической вентиляции, и что исследуемые здесь показатели имеют такой же порядок величины, что и в проведенных ранее работах [6, 15, 16]. В сообщении содержатся важные сведения о прохождении воздуха через такие элементы здания, как окна, двери и шахты лифтов, и даны числовые значения, необходимые при проектировании. Подчеркнута важность создания подпора воздуха на путях эвакуации и изложены правила проектирования при нескольких методах противодымной защиты. Рассмотрены оборудование, вентиляторы, каналы и ограничители; в общих чертах отмечены особенности систем подпора воздуха. Все результаты обобщены в виде требований по проектированию и включены в недавно выпущенные нормы; ниже подробно рассмотрены все затронутые вопросы.

5.4.4. Зарубежные исследования.

Австралия. Несмотря на то, что в Новом Южном Уэльсе, вероятно, впервые в мире были объединены и включены в нормы предложения по созданию подпора воздуха на путях эвакуации, не было опубликовано никаких материалов по результатам исследований, предшествовавших этому решению. В одном из номеров бюллетеня, выпускаемого Государственной экспериментальной строительной станцией [16], кратко описана работа, связанная с исследованием

распространения огня и дыма. Она включает несколько испытаний в трехэтажной экспериментальной башне. В ней сообщается, что требования к воздушному потоку и давлению даны применительно к условиям Нового Южного Уэльса, и приводятся сведения о различных по эффективности системах подпора воздуха с учетом условий, возникающих при открытых и закрытых дверях.

Канада. Канадским Национальным комитетом научных исследований в Оттаве была выдвинута обширная программа исследований по проблеме противодымной защиты зданий повышенной этажности. Намечалось провести как экспериментальные, так и теоретические исследования [17—24]. Интенсификация движения воздуха в зданиях, обусловленная атмосферными условиями, требует одновременного рассмотрения влияния механической системы создания подпора воздуха и естественной вентиляции. В результате исследований была подготовлена объяснительная записка [25], в которой изложены принципы противодымной защиты и требования к семи различным методам, позволяющим практически осуществить такую защиту.

В документе рекомендуется устраивать систему противодымной защиты во всех зданиях выше шести этажей (с некоторыми исключениями), а отказ от применения спринклерного оборудования рассматривается как альтернатива системе противодымной защиты. Основной задачей противодымной защиты является обеспечение безопасных условий в тех частях здания, где могут находиться люди при неожиданном возникновении пожара, у входов в лестничные клетки и у лифтовых шахт. При этом безопасным помещением считается такое, в котором не более 1% объема может быть охвачено огнем. Предложения, сделанные в рассматриваемом документе, в дальнейшем были включены в Правила по противодымной защите зданий Канады.

США. В США были проведены некоторые исследования по созданию системы подпора воздуха (кроме пожарных испытаний, описанных ниже), и ряд требований к ней включен в Единые строительные нормы США [26]. Эти требования основаны на системе противодымной защиты, разработанной Пожарной инспекцией Лос-Анджелеса [27, 28], где применяют оба метода — создание подпора воздуха и удаление дыма. Такая система подвергалась критике в различных странах [29].

Европа. Система противодымной защиты, исследованная в Европе, относится к так называемым продувочным системам, где в вестибюль подается большое количество воздуха и создается эквивалентная вытяжка [30—32]; системы подпора воздуха, даже самые простые, не исследовались в европейских странах, за исключением Великобритании.

5.4.5. Испытания при пожаре. Исследовательские работы по применению систем подпора воздуха для противодымной защиты подвергались серьезной критике из-за отсутствия натурных испытаний при пожаре; обычно испытания проводились только в

лабораторных условиях. Поэтому результаты трех натурных пожарных испытаний тщательно изучались во всех аспектах, связанных с противодымной защитой; ниже описаны некоторые детали этих испытаний.

Летом 1972 г. Политехническим институтом в Бруклине по заданию Пожарной инспекции Нью-Йорка были проведены пожарные испытания [33] в 22-этажном конторском здании. Это здание (рис. 5.4) предназначалось на снос, поэтому, воспользовавшись удобным случаем, в нем провели пожарные испытания с целью изучения работы нескольких систем создания подпора воздуха и удаления дыма. Для проведения испытаний установили два осевых лопастных вентилятора: один (производительностью $1133 \text{ м}^3/\text{мин}$) — в нижней части лестничной клетки, предназначенной для испытаний, другой (производительностью $283 \text{ м}^3/\text{мин}$) — в верхней части лестничной клетки. Большой вентилятор, установленный внизу, предназначался для создания подпора, а меньший, установленный сверху, — для вытяжки дыма. После включения этих вентиляторов разность давлений в нижней части лестничной клетки стала равной 250 Па в точке подачи воздуха и, постепенно снижаясь по мере подъема лестницы, составила в верхней части лестничной клетки всего лишь 75 Па . Когда давление на нижнем уровне уменьшилось до 75 Па , на верхнем уровне оно равнялось 20 Па .

Приведенные выше результаты относятся к случаю, когда все двери лестничной клетки закрыты. Если открыта одна или несколько дверей в лестничной клетке, то разность давлений над открытой дверью заметно снижается. Испытания, в которых избыточное давление в лестничной клетке создавалось вентилятором, установленным в верхней части, при открытой снизу лестнице показали, что дым (в виде столбов) концентрируется на нижнем уровне. Такой результат не соответствует поставленным требованиям, поэтому описанная система была забракована и больше не испытывалась. При испытаниях с применением охлажденного дыма осуществлялась подача воздуха под давлением на нижнем уровне, чтобы установить, что система подпора воздуха предохраняет лестничную клетку от попадания в нее дыма. Полученный результат был удовлетворительным.

Следующий этап работы заключался в проведении четырех

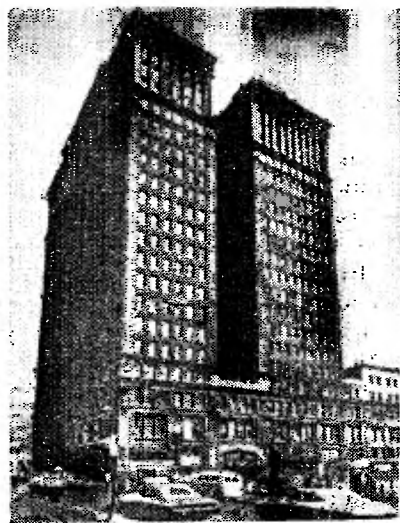


Рис. 5.4. Двадцатидвухэтажное здание в Нью-Йорке, где проводились огневые испытания с подпором воздуха

пожарных испытаний. Один пожар был устроен на седьмом этаже, где костер из деревянных столов, стульев, бумаг, пенорезиновых подушек и кусков полиуретана создавал нагрузку $0,0031 \text{ кг/см}^2$ в испытательной комнате размером $16,4 \times 9,7 \text{ м}$ (161 м^2). Другие три пожара были организованы на десятом этаже на различном расстоянии от лестничной клетки. В этих испытаниях создавался пожар на небольшой площади ($23\text{—}28 \text{ м}^2$), где горела конторская мебель, причем пожарная нагрузка составляла соответственно $0,0025$, $0,0044$ и $0,0025 \text{ кг/см}^2$.

Выводы, которые удалось сделать при этих испытаниях, заключаются в следующем:

а) доказана возможность применения системы подпора воздуха в лестничных клетках высоких конторских зданий для обеспечения защиты от проникания в них дыма;

б) измерения уровней дыма и непосредственное визуальное наблюдение в лестничной клетке показали, что ее пространство остается свободным от дыма, пока широко открыто не более трех дверей;

в) в то время как в коридоре и на прилегающих к нему площадках на этаже, где возник пожар, наблюдалась значительная степень задымления, испытываемая лестница оставалась свободной от дыма и обеспечивала надежный и безопасный проход для эвакуации людей, а также служила путем, по которому пожарные могли приблизиться к огню;

г) измерения показали, что при удалении вытяжного вентилятора, установленного в верхней части лестничной клетки, работа системы подпора воздуха улучшается при наличии вытяжных отверстий соответствующего размера.

Примерно в это же время, в июне 1972 г., Министерством строительства были проведены аналогичные испытания [34] в Атланте, штат Джорджия. Четырнадцатизатяжную гостиницу Генри Греди включили в перечень сносимых зданий, и было решено провести серию пожарных испытаний с целью оценки эффективности применения системы подпора воздуха.

Для повышения давления в лестничной клетке и лифтовых шахтах были установлены вентиляторы. Они обеспечивали подачу воздуха в нижнюю часть каждой шахты, причем максимально возможное поступление воздуха в лестничную клетку составляло $623 \text{ м}^3/\text{мин}$, а в лифтовую шахту — $1048 \text{ м}^3/\text{мин}$; эта шахта была общей для трех лифтов. Кроме того, установили дополнительные вентиляторы, обеспечивающие создание избыточного давления на площадках (вестибюлях), ближайших к лестничной клетке горящего этажа, или поддерживающие пониженное давление при размещении вытяжного вентилятора на покрытии. При использовании вентиляторов указанной производительности давление в нижней части лестничной клетки достигает 200 Па и падает до 25 Па в верхней части при закрытых дверях в лестничную клетку. Интересная особенность рассматриваемой системы подпора воздуха в лестничной клетке состоит в том, что при понижении давления

в нижней части до 50 Па давление в верхней части остается равным 25 Па . В лифтовой шахте при работе вентилятора с максимальной производительностью давление у двери лифта на пятом этаже, где произошел пожар, равнялось $12,5 \text{ Па}$.

Испытания дымом и пожаром были проведены для проверки поведения системы в различных условиях. Из трех пожарных испытаний одно было проведено на пятом этаже, два — на третьем. В одном испытании в качестве топлива использовали различные предметы мебели массой около 200 кг , в двух других — деревянные планки. Во всех испытаниях нагрузка от пожара, как правило, не превышала $0,002 \text{ кг/см}^2$. При проведении испытаний применяли избыточное давление $37,5 \text{ Па}$ между лестничной клеткой и прилегающими помещениями (это значение снижается до $12,5 \text{ Па}$ при открытой двери в лестничную клетку на уровне этажа, где произошел пожар) и $12,5 \text{ Па}$ между лифтовой шахтой и площадкой на горящем этаже.

Испытания дали следующие результаты:

а) механическая система подпора воздуха обеспечивает удовлетворительную защиту лестничных клеток от проникания дыма;

б) защита вестибюлей становится достаточно эффективной при осуществлении их дополнительной изоляции и создании препятствий для перемещения дыма;

в) создание подпора воздуха в лифтовых шахтах становится возможным и эффективным при предотвращении инфильтрации дыма внутрь шахты;

г) избыточное сопротивление может возникать у входных дверей, расположенных рядом с большим вентилятором, который является источником снабжения воздухом защищаемого от дыма помещения;

д) когда единственный источник снабжения воздухом расположен в лестничной клетке ниже входной двери на первый этаж, открывание этой двери приводит почти к полной потере герметизации лестничной клетки;

е) исходя из указанных выше соображений рекомендуется подавать воздух не в одной, а в нескольких точках, расположенных на разных сторонах шахты. Это будет способствовать унификации конструкций систем подпора воздуха и ликвидирует значительные потери, обусловленные открыванием дверей в какой-либо точке.

Два испытания пожаром позволили восполнить пробел в результатах уже проведенных экспериментов, касающийся величины избыточного давления, достаточной для противодымной защиты, и в этом отношении были весьма полезны. Однако испытания проводили в старых зданиях, при проектировании и строительстве которых не предполагалось создания системы подпора воздуха, и примененная в обоих случаях система подпора воздуха не может рассматриваться как рабочая часть здания, предусмотренная при его проектировании с самого начала.

Высказанные критические замечания обусловили проведение третьего испытания пожаром, результаты которого описаны ниже.

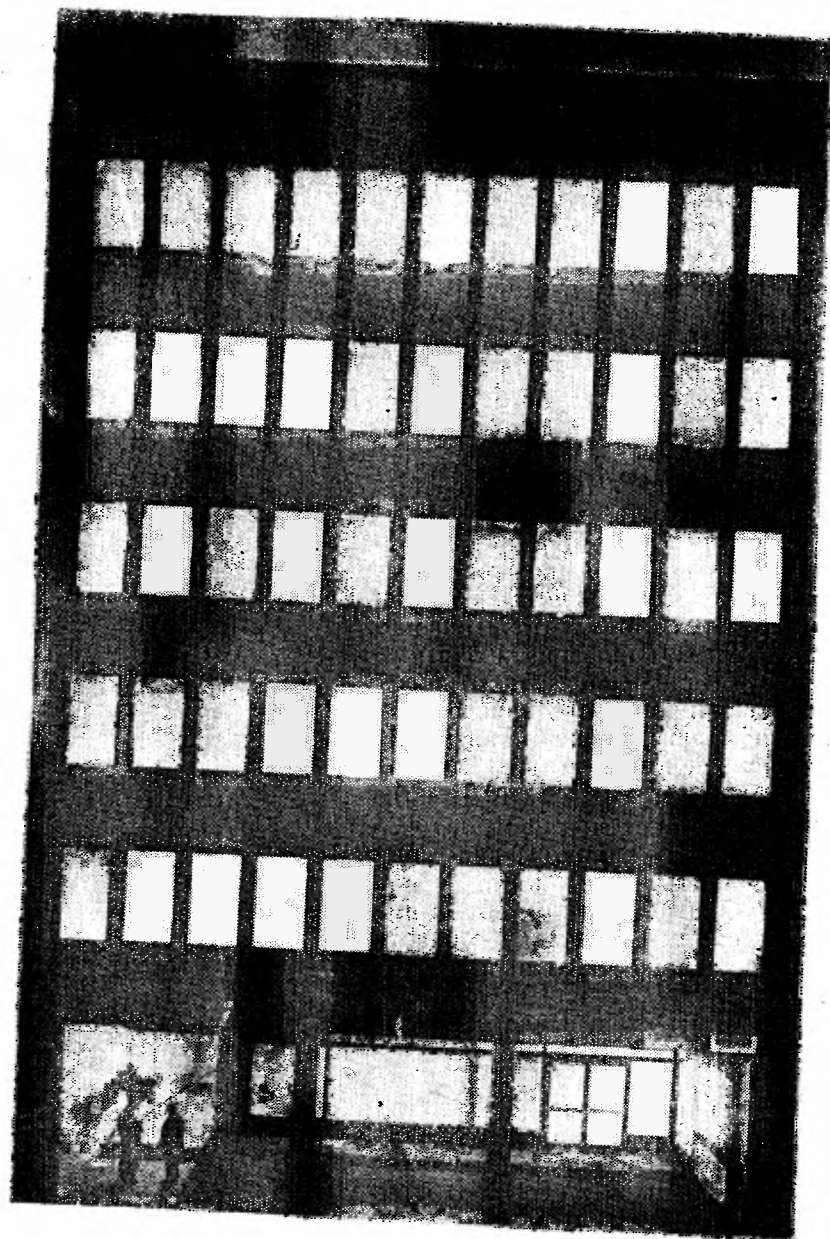


Рис. 5.5. Новое здание в Гамбурге, в котором испытывалась система подпора воздуха при пожаре

Испытания проводили в специально спроектированном контрольном здании в Гамбурге [35, 36], которое имело шесть наземных и один подвальный этаж (рис. 5.5). В плане здание близко к прямоугольнику размером 13×28 м. Каждая длинная сторона примыкает к соседним зданиям, а фасад по короткой стороне нависает над каналом (Монкдамфлит). Поэтому доступ в здание возможен только со второй короткой стороны (южный фасад).

Такое ограничение доступа в здание создает серьезные проблемы по размещению лестниц и устройству подходов к двум лифтам, так как войти в здание с продольных сторон практически невозможно. Можно рассматривать только один путь предотвращения попадания дыма в лестничную клетку с помощью традиционного метода естественной вентиляции — создание в центре здания «дымовой башни» (или большого открытого колодца), обеспечивающей доступ к лестницам каждого этажа через открытые балконы, примыкающие к этой башне. Такой метод не обеспечивает надежной защиты от дыма при различных атмосферных условиях и, кроме того, приводит к потерям большой полезной площади из-за необходимости размещения центрального ядра; поэтому проектирование системы подпора воздуха проводили с учетом требования экономии площади и применяли вполне проверенный способ противодымной защиты (рис. 5.6).

Служба контроля зданий и пожарная команда Гамбурга не располагали результатами экспериментов по применению избыточного давления как средства предотвращения попадания дыма на пути эвакуации, однако они были готовы к проведению новых исследований, ознакомившись с результатами испытаний, проведенных в других странах. Эти службы дали согласие на проведение экспериментов, поставив два следующих условия:

спроектированная система подпора воздуха должна оставаться эффективной при четырех открытых дверях или при возникновении внешнего «эффекта трубы»; расчеты должны подтвердить надежность системы при рассмотренных условиях;

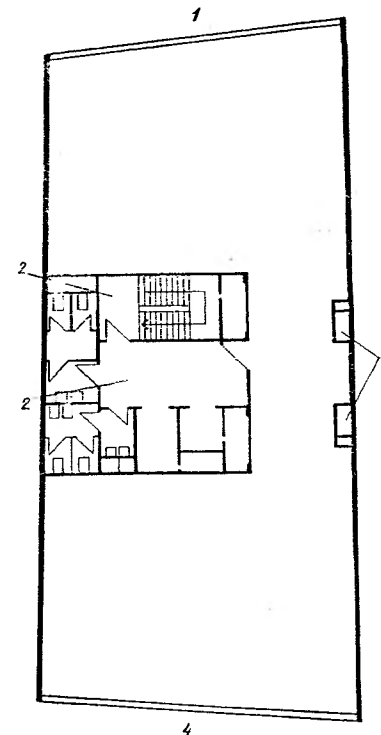


Рис. 5.6. План типового этажа с размещением системы подпора воздуха
1 — сторона здания, выходящая на канал;
2 — лестничная клетка и лифтовая площадка, в которых создан подпор воздуха;
3 — шахты удаления воздуха; 4 — сторона здания, выходящая на улицу

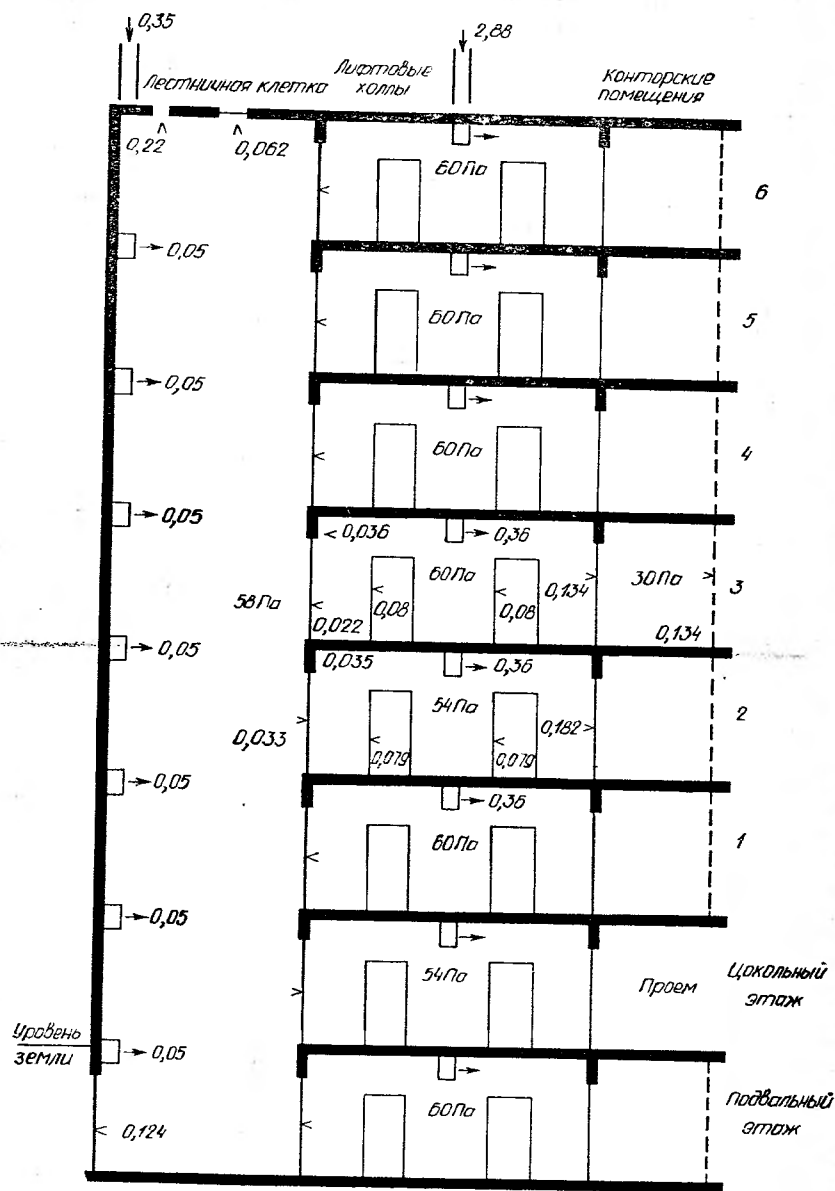


Рис. 5.7. Критические уровни избыточного давления (пожар произошел на втором этаже). Давление и расход воздуха в наземном этаже такие же, как на втором этаже, а на всех остальных этажах — как на третьем этаже

испытание пожаром должно проводиться в многоэтажном здании, чтобы продемонстрировать возможность удержания дыма вне площадок и лестничных клеток с помощью системы подпора воздуха.

Предполагалось, что система подпора воздуха будет работать в двух режимах: в режиме низкого давления на лифтовых площадках и в лестничных клетках в течение всего периода нахождения людей в здании и в режиме высокого давления в обеих лестничных клетках и на лифтовых площадках при неожиданном возникновении аварийной ситуации — пожаре в каком-нибудь помещении.

Проектирование системы проводилось с учетом следующих особенностей:

а) система подпора воздуха может работать в двух режимах с равным давлением в лестничной клетке и на лифтовой площадке: при обычных условиях давление равно 15 Па , при аварийной ситуации оно возрастает до 50 Па (рис. 5.7);

б) о возникновении аварийной ситуации сигнализируют дымовые датчики, два из которых на каждом этаже расположены в конторских помещениях;

в) аварийное электроснабжение обеспечивается с помощью дизельного генератора, размещенного в подвале;

г) лестничные клетки и площадки лифтов снабжены независимыми вентиляторами, установленными на крыше, с индивидуальным забором воздуха;

д) когда открыта дверь из конторского помещения и (или) из лестничной клетки на площадку, скорость течения воздуха в помещение, охваченное пожаром, из помещения с избыточным давлением должна составлять не менее $0,5 \text{ м/с}$ (рис. 5.8). Это условие выполняется, когда одновременно открыты максимум четыре двери, причем одна из них — наружная дверь на первом этаже. Как правило, при рассмотренных условиях возрастает расход воздуха внутрь лестничной клетки и на каждую площадку, и возможность дополнительного притока воздуха через постоянные отверстия ограничивается условием, что давление в лестничной клетке при закрытых дверях не будет превышать 50 Па ;

е) создание избыточного давления воздуха в конторских помещениях на каждом этаже осуществляется с помощью двух вертикальных каналов, показанных в плане на рис. 5.6. Обычно в этих каналах на каждом этаже устанавливают огнестойкие стальные газонепроницаемые клапаны, которые в нормальном положении закрыты и автоматически открываются при обнаружении дыма на соответствующем этаже;

ж) воздух, имеющий избыточное давление, поступает только на этаж, где произошел пожар. Эта местная вентиляция противодействует принятой системе подпора воздуха при всех режимах ее работы, поэтому расчетное давление в лестничной клетке должно приниматься не менее 58 Па , а на всех площадках не venti-

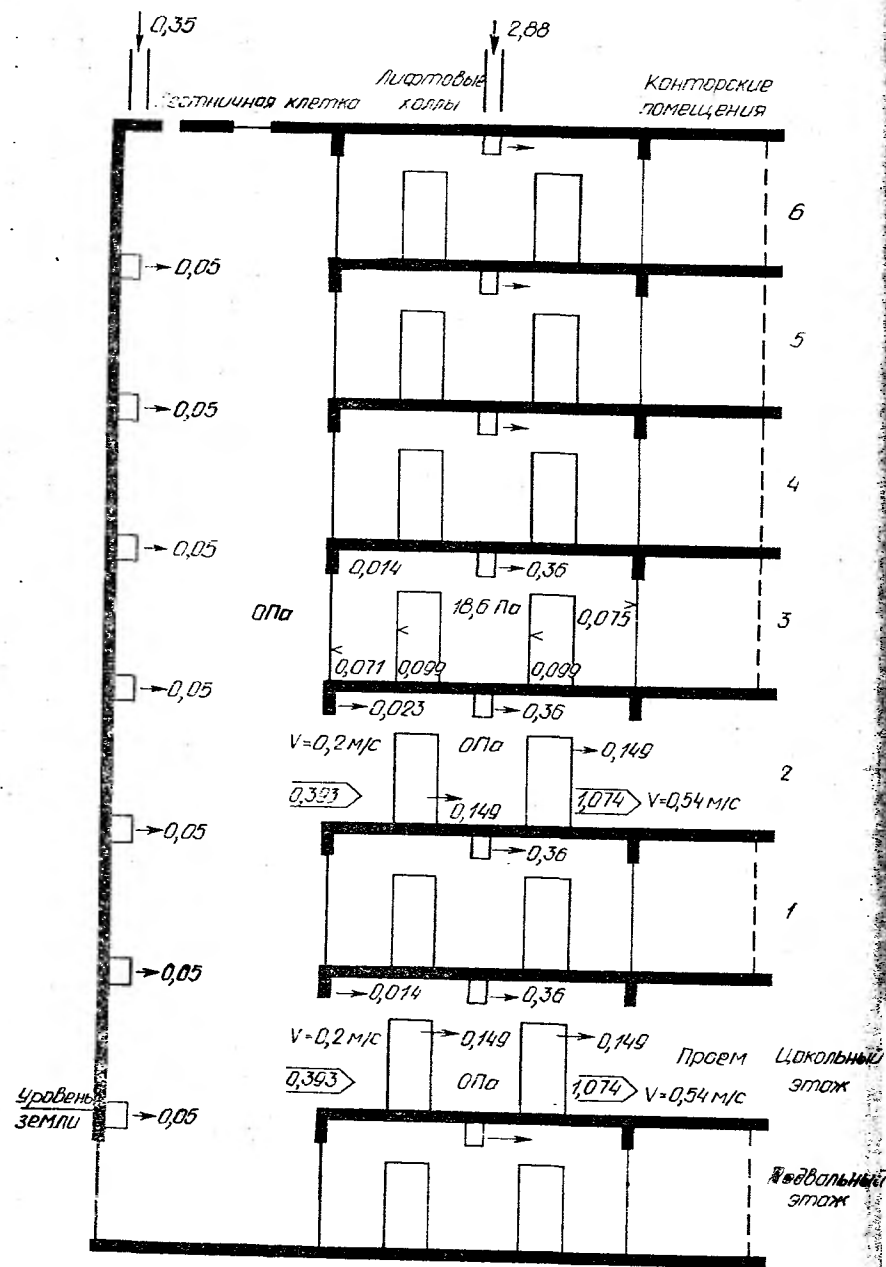


Рис. 5.8. Расчетный расход воздуха через «открытую дверь» (пожар произошел на втором вентилируемом этаже); расходы воздуха через площадку с открытыми дверями на втором и наземном этажах одинаковы; на всех остальных этажах расходы воздуха на площадке такие же, как на третьем этаже

лируемых этажей — 60 Па. Такое повышение уровня давления должно быть проверено при испытаниях.

В этом здании были проведены следующие испытания системы подпора воздуха:

а) измерение разности давлений и расхода воздуха, установившегося в здании, когда ожидаемая площадь утечки в оборудованном здании обеспечена на каждом этаже;

б) визуальное изучение поведения системы при генерировании холодного дыма в испытуемом помещении;

в) испытание системы в здании на всех стадиях пожара в конторском помещении на втором этаже.

Пожарные испытания проведены при условиях, полностью соответствующих режиму эксплуатации в оборудованном здании; там, где нет окон или дверей, устанавливают временные перегородки. Их тщательно замазывают и делают отверстия заданных размеров, позволяющие оценить истечение различных газов. Пожар устроен в помещении размером 4×15 м, отгороженном в северной части второго этажа. Дверь с площадки открывается в помещение, охваченное огнем, и в это же помещение входят два вертикальных вентиляционных канала. Несмотря на то что щели в полностью законченном здании замазываются, все же будет происходить течение воздуха с площади этажа наружу, вызванное нормальной работой системы кондиционирования воздуха; это течение имитируется отверстиями соответствующих размеров в перегородке помещения, где устроен пожар. Для создания пожара использовано 370 кг дров, уложенных в две группы по восемь штабелей с прокладкой между ними толстых кусков пенополистирола для образования густого черного дыма.

При проведении испытаний были измерены следующие параметры, характеризующие условия, которые создаются в здании при пожаре:

а) разность давлений между площадками и лестничной клеткой и площадками и прилегающими помещениями на каждом этаже;

б) расход воздуха, подаваемого в каждое помещение, с избыточным давлением с помощью приточных вентиляторов;

в) расход воздуха наружу через каждую открытую дверь;

г) температура в ряде точек помещения, где произошел пожар, на лифтовой площадке, в других помещениях этого этажа и в нескольких точках лестничной клетки;

д) плотность дыма на лифтовой площадке этажа, где произошел пожар, и в нескольких точках лестничной клетки;

е) концентрация CO и CO₂ на лифтовой площадке этажа, где произошел пожар, и в лестничной клетке на уровне второго этажа.

Результаты измерений расхода воздуха и разности давлений, проведенных за день до испытаний, показали, что расход воздуха, поступающий в герметизируемое пространство (лестничную клетку и лифтовые площадки), немного превышает расчетные значения (примерно на 8%). Разность давлений между герметизируе-

мым пространством и прилегающими помещениями примерно на 40% больше принятой при проектных расчетах. Такой результат получен путем тщательной подгонки дверных полотен в проемах между лифтовыми площадками и конторскими помещениями и между площадками и лестничной клеткой; в примененных комплектах дверей с подогнанными полотнами в стальных коробках зазоры по контуру очень малы.

Испытания холодным дымом. Скорость потока воздуха через открытые двери была ниже принятой в проектных расчетах примерно на 20%, за исключением наружной двери в наземном этаже; в последнем случае скорость потока воздуха больше расчетной примерно на 100%. Вероятно, это связано с относительно небольшим различием в сопротивлении потоку воздуха при прохождении через двери, оказывающие существенное влияние на скорость потока. Однако принималось, что для эффективной противодымной защиты расход воздуха через открытые двери должен быть одинаковым. Испытания холодным дымом наглядно продемонстрировали движение воздуха наружу из пространства с избыточным давлением и показали, что большой расход воздуха через открытые двери создает незадымленную зону со стороны пожара перед дверью, ведущей к пути эвакуации (в рассматриваемом случае — дверь на лифтовую площадку). Во время испытаний холодным дымом не наблюдалось проникания дыма в лифтовые шахты или лестничную клетку даже при четырех открытых дверях (из конторского помещения на площадку, с площадки на лестничную клетку на втором этаже, из лестничной клетки на площадку и с площадки наружу на наземном этаже).

Из журнала наблюдений, проведенных в течение испытаний пожаром (табл. 5.1), видно, что температура до 700°C была зафиксирована в помещении, где произошел пожар, примерно через 15 мин после начала испытаний, длившихся около 36 мин. В течение всего периода огневых испытаний площадки и лестничные клетки оставались незадымленными, и только при максимальной плотности дыма на очень короткое время (около 2 мин) видимость на лифтовой площадке второго этажа понизилась на 30%. Однако это были исключительные условия, и воздух на этой площадке быстро посветлел и оставался незадымленным в течение всего остального времени. Клапаны в вертикальной шахте были открыты через 1 мин после начала испытаний, и на этой стадии было установлено, что воздух двигался по шахте вниз, поддерживая горение. Однако при развитии пожара возникает обратный поток воздуха и значительная часть дыма удаляется из здания через шахту.

Измерения давления в различных точках во время огневых испытаний показали, что шахты создавали заметный вытяжной эффект и в помещении, где произошел пожар, давление снижалось, как правило, на 20 Па; поэтому разность давлений между лифтовой площадкой и горящим помещением составила в течение пожара 90 Па. Этот вытяжной эффект оказывает влияние также на

ТАБЛИЦА 5.1. ЖУРНАЛ ПОЖАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЗДАНИИ
ПО УЛИЦЕ ГРОССЕР БУРШТАХ, 46—48, ПРОВЕДЕННЫХ 4 АПРЕЛЯ 1976 Г.

Время, мин	Стадия пожара и температура над огнем, °C	Положение дверей	Распространение дыма
0	Начало пожара	Все закрыты	—
1	Загорелась одна поленица		
2			
3	200		Выделение дыма
4			В горящем помещении
5	300	Открыта дверь на втором этаже с площадки в конторское помещение	Сгустки дыма
6			
7		Открыта дверь на втором этаже с площадки в лестничную клетку	Слой дыма на площадке
8	500		Площадка не задымлена
9			
10	400	Открыта дверь на наземном этаже из лестничной клетки на площадку	
11			
12	400	Открыта наружная дверь	Площадка и лестничная клетка не задымлены
13			То же
14	Горят две поленицы	Открыты четыре двери	»
15		Открыты двери на первом и третьем этажах из конторских помещений на площадке	Движение дыма на площадку, понижение видимости на 30%
16			Лестничная клетка не задымлена
17	700		Площадка не задымлена
18		Открыты еще две двери на первом и третьем этажах в лестничную клетку (8 дверей открыто)	
19		Закрываются двери наземного этажа	
20	630		
21			
22			
23	630		
24	630	Открыты двери из лестничной клетки на четвертом и пятом этажах (8 дверей открыты)	Площадка и лестничная клетка не задымлены
25			
26			
27			
28	620	Открыты двери конторских помещений на четвертом и пятом этажах (10 дверей открыты)	То же
29			
30	510	Снова открываются двери наземного этажа (12 дверей открыты)	Лестничные клетки и площадки не задымлены
31			
32			
33			
34			
35	Конец пожара		

поток воздуха через открытые двери. Когда открыты четыре двери (две из горящего помещения и две на наземном этаже), скорость потока воздуха через открытую дверь из лестничной клетки на площадку возрастает вдвое по сравнению со скоростью, зафиксированной в предыдущий день, и наблюдается поступление воздуха в здание через дверь наземного этажа (в отличие от потока из здания при предыдущих испытаниях холодным дымом).

Окна в горящем помещении оставались неповрежденными в течение всего периода испытаний пожаром.

Пожар был устроен на втором этаже. Источником огня служил штабель из 370 кг дров с прокладками полистирола (для увеличения количества дыма), сложенный в небольшом помещении. При полностью закрытых дверях давление на площадках лестничных клетках было намного выше проектного, однако расход воздуха при открытых дверях был несколько ниже. В начальной стадии пожара воздух поступал в огонь через одну из вертикальных шахт. Окна в горящем помещении не разрушились и не покорились в течение всего периода испытаний. Клапан в вертикальной шахте был открыт только на том этаже, где протекал пожар.

Заслуживает внимания тот факт, что установленное оборудование не только сохранило пути эвакуации незадымленными, но оказало влияние на само развитие пожара, так как поток воздуха через вертикальные шахты создает благоприятные условия для работы системы подпора воздуха. В проектных расчетах предполагалось, что при пожаре в небольшом помещении в течение 15 мин будет достигнута температура более 1000°C, и два предварительных испытания пожаром рассматриваемой мощности подтвердили такую возможность. Однако при контрольных испытаниях температура 1000°C достигнута не была, так как система вертикальных каналов способствовала вытяжке воздуха и в огонь поступало большое количество свежего воздуха, способствующее падению температуры. Максимальная температура над огнем равнялась 700°C, причем она продержалась на этом уровне лишь в течение 1—2 мин.

Комбинированное воздействие пожара и вытяжного эффекта вертикальных каналов создает в горящем помещении разрежение 20 Па, способствующее поступлению свежего холодного воздуха, что повышает эффективность работы системы подпора воздуха. При проектировании здание и система подпора воздуха рассматривались как единое целое, и этот удачный пример проектирования с учетом пожарной безопасности показывает, что при таком подходе можно снизить требования к огнестойкости конструкций. Например, двери в лестничную клетку и на площадки могли сопротивляться огню в течение 90 мин, однако они не принимали участия в удержании пламени и дыма вне лестничной клетки, так как в большинстве испытаний были открыты.

5.4.6. Использование имеющегося опыта. В настоящее время система подпора воздуха может быть устроена во многих здани

как в Великобритании, так и в других странах. Высокие здания с центральным ядром обслуживания являются примером проектного решения, где повышение пожарной безопасности требует применения механической вентиляции (т. е. системы подпора воздуха) для противодымной защиты путей эвакуации. Здание «Перл иншуеренс билдинг» в Кардиффе [37], показанное на рис. 5.9, может служить примером одного из таких зданий, где по экономическим соображениям не располагали лестничные клетки и площадки у наружных стен.

В настоящее время в результате обобщения опыта научных исследований, данных огневых испытаний и опыта проектирования оборудования зданий получена достаточная информация, позволяющая оценить систему подпора воздуха как надежный способ защиты от дыма. Можно сформулировать ряд требований, которые должны быть выполнены для получения удовлетворительной системы защиты от дыма при применении в здании избыточного давления.

5.5. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ПОДПОРА ВОЗДУХА

Главное назначение системы подпора воздуха состоит в создании постепенно возрастающего давления в комнатах, коридорах, площадках и лестничных клетках, обеспечивающего незадымленное пространство при движении людей по направлению к лестничной клетке. Помещения, в которых создается избыточное давление (обычно лестничная клетка, а в некоторых случаях и примыкающие к ней площадки), считаются защищенными от пожара при соблюдении следующих условий:

- а) сохраняется целостность структуры помещений с избыточным давлением;
- б) сохраняется работоспособность системы подпора воздуха;
- в) весь поток направлен наружу через двери и другие технологические отверстия;

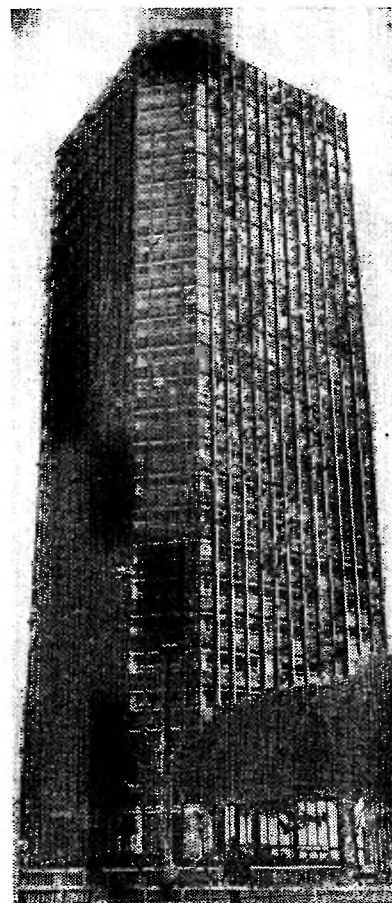


Рис. 5.9. Здание в Кардиффе, где пожарная команда проводила испытания по ограничению распространения дыма с помощью системы подпора воздуха

г) воздух из помещений без избыточного давления может вентилироваться через наружные двери.

Оборудование системы подпора воздуха кроме защиты от дыма, являющейся основным ее назначением, может также применяться для обеспечения определенных требований по воздухообмену, т. е. для создания нормальной вентиляции в помещениях с избыточным давлением. Для этого система подпора воздуха должна работать в ослабленном режиме непрерывно или в периоды нахождения людей в здании. Работа системы подпора воздуха в максимальном режиме предусмотрена только в аварийных ситуациях.

Каждая лестничная клетка должна иметь независимую систему подпора воздуха даже при применении одного комплекта оборудования, а система распределения воздуха может обслуживать лестничную клетку вместе с примыкающей к ней площадкой, если избыточное давление создается в обоих помещениях. Поэтому стараются избегать ситуаций, когда в одной лестничной клетке возникают препятствия для создания необходимого уровня избыточного давления (например, открытая дверь). Мощность оборудования системы подпора воздуха подбирается из условия, что поток воздуха должен непрерывно течь наружу из помещения с избыточным давлением. Это требование будет выполняться при положительной разности давлений у дверей и других технологических отверстий, связывающих помещения с независимой системой подпора воздуха с помещениями без такой системы; положительная разность давлений должна сохраняться и в случае неблагоприятных ветровых условий и пожара.

При проектировании систему подпора можно разбить на три взаимосвязанные части.

1. Снабжение воздухом пространства с избыточным давлением. Для этой цели можно применять механическую систему подачи, распределяющую воздух в соответствующие помещения с помощью системы каналов. Забор воздуха осуществляется вне здания, а пути его подачи к местам потребления должны быть защищены от проникания дыма. Иногда приходится применять фильтрацию, очистку или подогрев подаваемого воздуха.

2. Поток воздуха наружу из пространства с избыточным давлением. Из помещения с избыточным давлением в любом здании неизбежно будет возникать поток воздуха через какие-либо отверстия в ограждающих конструкциях. Течение воздуха происходит через зазоры вокруг дверей и окон, воздухопроницаемые ограждающие конструкции здания, каналы системы кондиционирования и т. д. Поток воздуха по указанным путям наблюдается в том случае, если поддерживается разность давлений между герметизируемым помещением и помещением, прилегающим к нему. Расход воздуха зависит от уровня избыточного давления в герметизируемом помещении.

3. Вентиляция в части здания, не имеющей избыточного давления. Очень важно, чтобы поток воздуха, проходящий из по-

мещений с избыточным давлением в часть здания без избыточного давления, имел возможность выхода в атмосферу за счет естественного воздухообмена внутри здания или с помощью специальной вентиляционной системы. Путь, по которому осуществляется выход воздуха из здания, должен иметь низкую сопротивляемость движению потока, что обеспечивает эффективность работы при малом избыточном давлении. Если выход воздуха в атмосферу ограничен, то нельзя создать требуемой разности давлений между помещениями с избыточным давлением и остальной частью здания.

5.5.1. Последовательность проектирования системы подпора воздуха для противодымной защиты. При наличии всех трех частей системы, описанных выше, для обеспечения требуемой противодымной защиты необходимо правильно увязать составляющие системы друг с другом. Первым шагом проектирования является выбор помещений (лестничных клеток, площадок, коридоров), предназначенных для создания в них избыточного давления.

Помещения с избыточным давлением. 1. Только лестничная клетка (или клетки). При простой схеме герметизации избыточное давление создается только в лестничной клетке (или клетках). Такая схема обеспечивает защиту от дыма лишь в ограниченной степени и должна применяться только в тех случаях, когда горизонтальная часть путей эвакуации на каждом этаже относительно коротка. Рассматриваемая система обеспечивает защиту от дыма лишь в вертикальной части путей эвакуации и в общем может применяться в зданиях, где лестничная клетка на каждом этаже непосредственно связана с рабочими помещениями или примыкает к ним через небольшую площадку. Площадка перед лестничной клеткой не должна иметь выходов в лифтовую шахту или специальные помещения (например, туалеты), где создается значительная тяга, которая может изменить требуемое направление воздушного потока на обратное.

Влияние открытой двери на помещение с избыточным давлением может быть снижено, если перед лестничной клеткой имеется небольшой вестибюль. В этом вестибюле не должно быть собственной вентиляции, что позволит создать некоторое избыточное давление при прохождении через него потока воздуха из герметизированной лестничной клетки. На рис. 5.10 и 5.11 показаны два примера создания избыточного давления только в лестничных клетках и ограниченность такого способа.

2. Лестничные клетки и все или часть горизонтальных путей. В любом здании, где на каждом этаже имеются защищенные пути эвакуации (вестибюль, упомянутый в п. 1, не относится к этим путям), должна быть предусмотрена система подпора, обеспечивающая поток воздуха на площадку и по возможности в коридор на другой стороне. В этом случае все рассматриваемые помещения (лестничные клетки, площадки и коридоры) будут иметь свою собственную принудительную систему снабжения свежим воздухом. При таком способе защиты создается

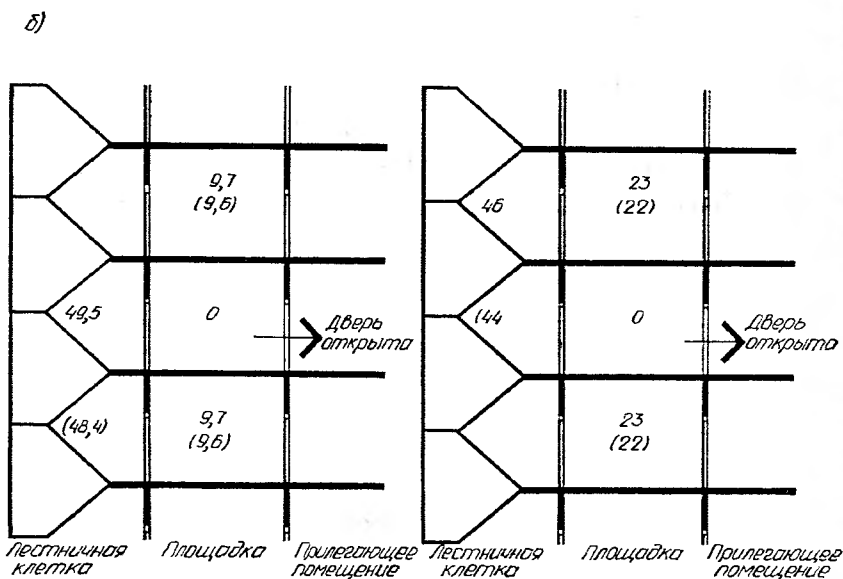
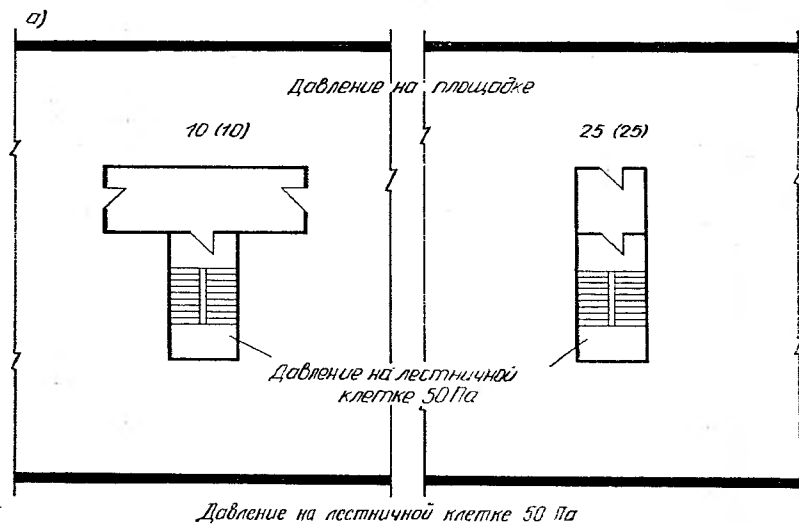


Рис. 5.10. Подпор воздуха только в лестничных клетках (давления в Па, приведенные без скобок, относятся к десятиэтажному зданию, в скобках — к пятиэтажному)
а — уровень избыточного давления при закрытых дверях между площадкой и прилегающими помещениями; б — уровень избыточного давления при одной открытой двери, ведущей с площадки в прилегающие помещения

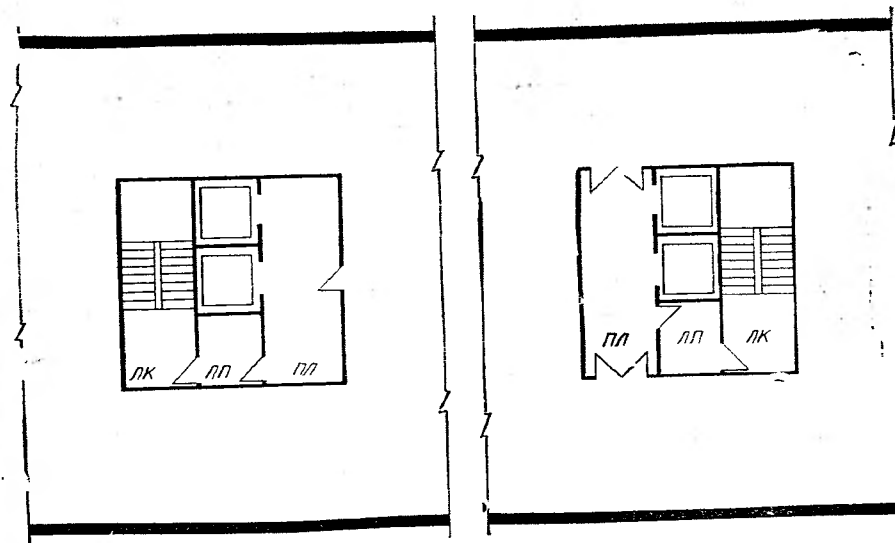


Рис. 5.11. Подпор воздуха только в лестничной клетке; лифтовая площадка остается незащищенной

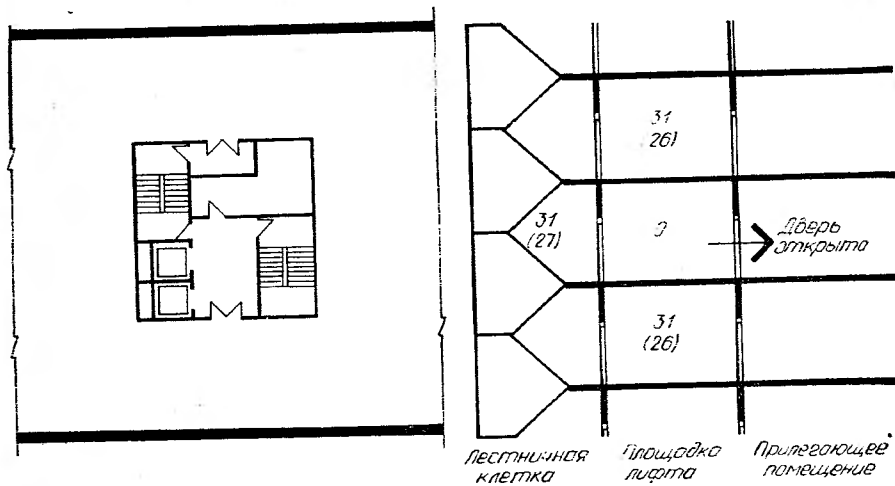


Рис. 5.12. Подпор воздуха в лестничных клетках и на лифтовой площадке (давления в Па при открытой двери из лифтовой площадки в прилегающее помещение, приведенные без скобок, относятся к десятиэтажному зданию, в скобках — к пятиэтажному)

Давление, возникающее на площадках при подпоре воздуха в лестничной клетке, Па

Помещение	Число этажей	
	5	10
Лестничная клетка (ЛК)	50	50
Лестничная площадка (ЛП)	25,6	26,2
Площадка лифта (ПЛ)	1,2	2,7
Лестничная клетка (ЛК)	50	50
Лестничная площадка (ЛП)	25,1	25,2
Площадка лифта (ПЛ)	0,2	0,4

воздушный поток, направленный в помещение, где может возникнуть пожар. Кроме того, важно отметить, что открывание дверей оказывает ограниченное влияние на уровень избыточного давления в зависимости от этажа. На рис. 5.12 показан пример создания избыточного давления в лестничной клетке и на лифтовой площадке на каждом этаже и влиянии открывания дверей на одно из этажей.

3. Площадки и (или) коридоры. В некоторых зданиях по конструктивным соображениям (например, из-за невозможности размещения канала независимой системы подачи воздуха) может оказаться необходимым создавать в лестничных клетках избыточное давление за счет воздуха, поступающего из соседних площадок или коридоров, оборудованных системой подпора. При правильном проектировании такой способ может дать удовлетворительные результаты. Однако в некоторых случаях приходится констатировать, что количество воздуха, требуемое для создания избыточного давления только на площадках, может быть больше, чем в случае, когда избыточное давление в лестничной клетке на площадках создается независимо друг от друга. Если в лестничных клетках не создается избыточное давление (не считается давления, вызванного потоком воздуха с площадок), в них не следует устраивать постоянную вентиляцию.

Создание подпора воздуха. Следующим шагом после выбора помещений, в которых будет создаваться избыточное давление, является установление режима работы системы и требуемого уровня избыточного давления.

1. Одно- или двухступенчатая система. Система подпора воздуха может предназначаться для работы только в исключительных обстоятельствах (например, в случае пожара), причем избыточное давление создается в некоторых помещениях, защищаемых от дыма. Все остальное время система подпора воздуха не работает. Такую систему называют одноступенчатой.

В противоположность этому в ряде специально отобранных помещений может постоянно создаваться небольшое избыточное давление как составная часть системы вентиляции в здании, а в аварийных ситуациях уровень избыточного давления повышается до максимального. Такую систему называют двухступенчатой.

Двухступенчатую систему обычно считают более предпочтительной, так как она всегда создает некоторую степень защиты и, следовательно, предотвращает распространение дыма даже в начальной стадии пожара. Оборудование, непрерывно работающее в нормальном режиме, можно легко переключить на повышенный режим, создающий удовлетворительные условия для защиты от

ТАБЛИЦА 5.2. ТРЕБУЕМАЯ РАЗНОСТЬ ДАВЛЕНИЙ

Здание	Разность давлений, Па	
	аварийная ситуация, система работает на полную мощность	нормальные условия, система работает непрерывно с пониженной мощностью
1	2	3
Высотой до 25 м	50	8
Высотой 25—100 м	50	15
Высотой более 100 м	50	25
Подземное	50	8

дыма. Само собой разумеется, что при возникновении пожара требуемое избыточное давление должно создаваться в тех же помещениях (например, в лестничных клетках, на площадках, в коридорах), где оно постоянно поддерживается. Неудовлетворительные результаты дает создание избыточного давления только в помещениях, находящихся в непосредственной близости к пожару, или только на этаже, охваченном огнем. При проектировании система должна быть рассчитана на создание разности давлений между герметизируемым пространством и полностью вентилируемым помещением без избыточного давления, например между лестничными клетками и прилегающими конторскими помещениями в административном здании (табл. 5.2).

Для работы одноступенчатой системы в аварийных ситуациях должны приниматься значения по графе 2, а для двухступенчатой — по графам 2 и 3 соответственно для аварийных и нормальных условий. Возможно, что в небольшом здании для обеспечения требуемой защиты в аварийных условиях достаточно создать избыточное давление 25 Па вместо предусмотренных 50 Па. С другой стороны, предполагается, что избыточное давление не должно превышать 60 Па, так как иначе будет трудно открыть дверь внутрь герметизированного помещения.

2. Дополнительные усилия для открывания двери. При создании избыточного давления 50 Па дополнительное усилие, которое должно быть приложено к дверной ручке для открывания двери внутрь герметизированного помещения, составляет около 40 Н (при двери шириной 0,8 и высотой 2 м). При избыточном давлении 60 Па дополнительное усилие, требуемое для открывания двери таких же размеров, составляет 48 Н.

После того как определены главные особенности системы подпора воздуха, переходят к проектированию отдельных элементов здания и рассматриваемой системы.

Требуемый расход воздуха. Количество воздуха, которое необходимо подать в закрытое помещение для получения требуемой разности давлений, как правило, зависит от скорости истечения воздуха из рассматриваемого помещения. Соотношение между разностью давлений, расходом воздуха и площадью поперечного

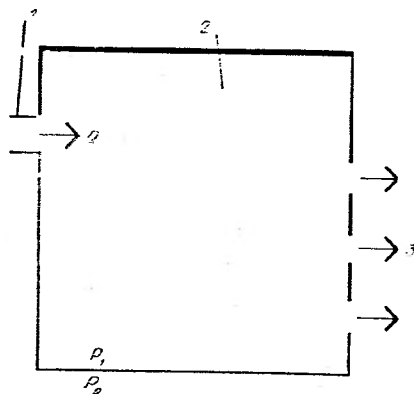


Рис. 5.13. Процесс создания подпора воздуха в закрытом помещении

P_1 — давление внутри; P_2 — давление снаружи; разность давлений $P = P_1 - P_2$; требуемый расход воздуха $Q = KAP^{1/N}$; 1 — канал подачи воздуха; 2 — помещение, в котором создается подпор воздуха; 3 — поток воздуха наружу через вытяжные отверстия (их полная площадь равна A)

сечения проемов, через которые удаляется воздух, определяется следующим уравнением (рис. 5.13):

$$Q = KAP^{1/N}, \quad (5.1)$$

где Q — количество поступающего воздуха; A — площадь поперечного сечения проемов, через которые воздух удаляется из помещения; P — разность давлений; K — постоянная, объединяющая коэффициент расхода воздуха и соотношение между применяемыми единицами; N — показатель, значение которого находится в интервале между 1 и 2.

Необходимо отметить, что объем помещения, в котором создается избыточное давление, не учитывается при расчете. Размеры помещения будут влиять на результаты расчета только в том случае, когда значительная часть воздуха выходит наружу за счет

воздухопроницаемости ограждающих конструкций; в этом случае поток воздуха принимается пропорциональным площади ограждающих конструкций. При применении стандартных материалов для устройства защищенных путей эвакуации расход воздуха через ограждающие конструкции, как правило, незначителен. Однако в некоторых случаях следует учитывать воздухопроницаемость ограждения, например при применении панельных перегородок, и этот фактор должен включаться в расчет. Для применения уравнения (5.1) должны быть известны значения K и N .

Значение K зависит от применяемых единиц. Если Q выражено в $\text{м}^3/\text{с}$, A — в м^2 , P — в $\text{Н}/\text{м}^2$ или Па , то $K = 0,827$. Тогда

$$Q = 0,827AP^{1/N}. \quad (5.1a)$$

Если Q выражено в $\text{л}/\text{с}$, A — в м^2 , P — в $\text{Н}/\text{м}^2$ или Па , то $K = 827$. Тогда

$$Q = 827AP^{1/N}. \quad (5.16)$$

Значение N , которое следует подставлять в уравнение, зависит от площади утечки воздуха в каждом конкретном случае. При больших зазорах по контуру дверей и других отверстий большой площади значение N должно приниматься равным 2. В этом случае в уравнение (5.1) подставляется $P^{1/2}$.

При малых отверстиях, таких как зазоры вокруг окон, значение N должно приниматься равным 1,6, и в уравнение (5.1) подставляется $P^{1/1,6}$ (или $P^{0,625}$). Числовые значения $P^{1/2}$ и $P^{0,625}$ для P в интервале 1—60 Па приведены в табл. 5.3.

ТАБЛИЦА 5.3. ЗНАЧЕНИЯ $P^{1/N}$ ПРИ $N=1,6$ ИЛИ 2

P	$P^{1/2}$	$P^{1/1,6}$	P	$P^{1/2}$	$P^{1/1,6}$	P	$P^{1/2}$	$P^{1/1,6}$
1	1,0	1,0	21	4,6	6,7	41	6,4	10,2
2	1,4	1,5	22	4,7	6,9	42	6,5	10,35
3	1,7	2,0	23	4,8	7,1	43	6,55	10,5
4	2,0	2,4	24	4,9	7,3	44	6,66	10,65
5	2,2	2,7	25	5,0	7,5	45	6,7	10,8
6	2,4	3,1	26	5,1	7,7	46	6,8	10,95
7	2,6	3,4	27	5,2	7,85	47	6,85	11,1
8	2,8	3,7	28	5,3	8,0	48	6,9	11,25
9	3,0	3,9	29	5,4	8,2	49	7,0	11,4
10	3,15	4,2	30	5,5	8,4	50	7,1	11,55
11	3,3	4,5	31	5,6	8,55	51	7,15	11,65
12	3,5	4,7	32	5,65	8,7	52	7,2	11,8
13	3,6	5,0	33	5,7	8,9	53	7,3	11,95
14	3,7	5,2	34	5,8	9,05	54	7,35	12,1
15	3,9	5,4	35	5,9	9,2	55	7,4	12,25
16	4,0	5,65	36	6,0	9,4	56	7,5	12,4
17	4,1	5,9	37	6,1	9,55	57	7,55	12,5
18	4,2	6,1	38	6,2	9,7	58	7,6	12,65
19	4,35	6,3	39	6,25	9,85	59	7,7	12,8
20	4,5	6,5	40	6,3	10,0	60	7,75	12,9

Правила определения суммарной площади утечки воздуха. При расчете утечки воздуха из помещения с избыточным давлением всегда приходится иметь дело с несколькими точками выхода воздуха. Поэтому при проектировании возникает проблема замены нескольких независимых потоков воздуха одним суммарным потоком через адекватную площадь. Пути утечки воздуха могут быть параллельны друг другу, последовательны или представлять собой комбинацию параллельных и последовательных участков. Правила расчета полной эффективной площади утечки зависят от типа путей и развязываются на приведенных ниже примерах.

1. Пути утечки воздуха параллельны друг другу. Это очень распространенный случай, возникающий при выходе воздуха из помещения с избыточным давлением через щели нескольких дверей, открывающихся непосредственно в прилегающие помещения без избыточного давления (рис. 5.14). Если A_1, A_2, A_3 и A_4 — площади щелей по контуру четырех дверей, обозначенных на рис. 5.14, то полная эффективная площадь утечки воздуха из помещения с избыточным давлением будет равна:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4. \quad (5.2)$$

2. Пути утечки воздуха последовательны. Такие условия возникают в том случае, когда воздух, вытекая из помещения с избыточным давлением, проходит одно за другим несколько помещений, прежде чем достигнет помещения без избыточного давления. Например, из лестничной клетки с избыточным давлением воздух попадает на площадку, затем с площадки в

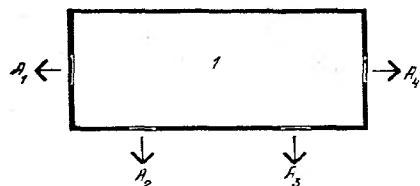


Рис. 5.14. Параллельные пути утечки воздуха
1 — помещение с избыточным давлением

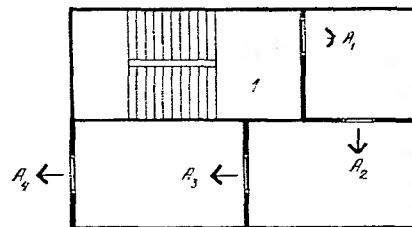


Рис. 5.15. Последовательные пути утечки воздуха
1 — помещение с избыточным давлением

коридор и далее в прилегающее помещение без избыточного давления.

Если площади зазоров вокруг дверей в здании, показанном на рис. 5.15, равны A_1, A_2, A_3, A_4 , то полная эффективная площадь утечки из помещения с избыточным давлением в полностью негерметизированное пространство будет определяться уравнением

$$\frac{1}{A_T^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \frac{1}{A_4^2} \quad (5.3)$$

откуда

$$A_T = \left(\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \frac{1}{A_4^2} \right)^{-1/2} \quad (5.4)$$

Обычно при создании избыточного давления последовательная утечка происходит не более чем у двух дверей; в этом случае полная эффективная площадь утечки воздуха

$$A_T = \frac{A_1 A_2}{(A_1^2 + A_2^2)^{1/2}} \quad (5.5)$$

Расчеты по уравнениям (5.3)–(5.8) дают точные результаты только для случаев, когда значение N в табл. 5.3 равно 2 (т. е. при утечке через двери, зазоры или большие отверстия). Однако эти же уравнения можно применять для получения приближенных результатов при $N=1,6$ для последовательной утечки через зазоры окон.

3. Смешанный случай: имеются параллельные и последовательные пути утечки воздуха. Такие условия создаются, когда воздух из помещения с избыточным давлением (например, из лестничной клетки) вначале попадает на небольшую площадку, а затем в большое помещение с несколькими

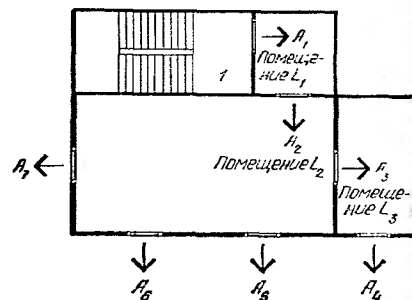


Рис. 5.16. Смешанный случай: пути утечки параллельны и последовательны
1 — помещение с избыточным давлением

открытыми дверями. Ниже приведен пример и рассмотрен способ расчета для такого случая.

В здании, представленном на рис. 5.16, избыточное давление создается только в лестничной клетке (другие помещения, показанные на рисунке, не имеют индивидуальной системы снабжения воздухом). Для проектирования требуется рассчитать эффективную площадь утечки воздуха из лестничной клетки как результат прохождения воздуха через семь дверей, показанных на рисунке.

Началом последовательных путей утечки является помещение L_3 . Эффективная сумма площадей утечки по путям A_3 и A_4 равна:

$$A_{3/4} = \frac{A_3 A_4}{(A_3^2 + A_4^2)^{1/2}} \quad (5.6)$$

Эта эффективная площадь утечки $A_{3/4}$ в свою очередь параллельна площади утечки остальных трех дверей, ведущих из помещения L_2 . Поэтому полная площадь утечки воздуха из помещения

$$A_{1/2} = A_1 + A_2 + A_5 + A_{3/4} \quad (5.7)$$

Полная эффективная площадь утечки воздуха из помещения L_2 может рассматриваться последовательной по отношению к двум дверям помещения L_1 .

Таким образом, эффективная площадь утечки из лестничной клетки с избыточным давлением в негерметизированное пространство, примыкающее к помещениям L_2 и L_3 , равна:

$$A_{1/2} = \left(\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_{1/2}^2} \right)^{-1/2} \quad (5.8)$$

Эта формула может показаться сложной, но она получена путем проведения несложных операций:

а) вначале определяют помещение с наименьшим давлением и пути утечки воздуха из него;

б) затем группируют пути утечки и с помощью соответствующих уравнений находят эффективные площади утечки воздуха для каждой группы;

в) далее таким же образом переходят к помещениям с избыточным давлением.

После получения правил сложения площадей утечки воздуха необходимо рассмотреть их фактические значения в различных точках здания.

Площадь утечки воздуха через различные элементы здания. При проектировании системы подпора воздуха необходимо выявить пути, по которым воздух может выходить из герметизируемого помещения, и оценить размеры утечки. При этом необходимо знать площади зазоров по контуру дверей, окон и отверстий в других поверхностях, где может проходить воздух.

1. Двери. Обычно наибольшая часть утечки воздуха происходит через закрытую дверь. В табл. 5.4 приведены стандартные значения площадей зазоров для различных типов дверей, которые применяются в помещениях с избыточным давлением.

ТАБЛИЦА 5.4. СТАНДАРТНАЯ ПЛОЩАДЬ ЗАЗОРОВ (ПЛОЩАДЬ УТЕЧКИ ВОЗДУХА) ДЛЯ ДВЕРЕЙ ЧЕТЫРЕХ ТИПОВ

Тип дверей	Размеры, м	Длина зазоров, м	Площадь утечки, м ²
Одностворчатая дверь в коробке с притвором, открывание в помещение с избыточным давлением	Высота 2, ширина 0,8	5,6	0,01
Одностворчатая дверь в коробке с притвором, открывание из помещения с избыточным давлением	То же	5,6	0,02
Двустворчатая дверь с притвором или без него в центре	Высота 2, ширина 1,6	9,2	0,03
Дверь лифтовой площадки	Высота 2, ширина 2	8	0,06

Для дверей более узких, чем указано в табл. 5.4, можно применять те же значения. Для дверей большего размера площадь утечки должна быть увеличена прямо пропорционально приросту длины зазоров; например, одностворчатая дверь высотой 2 и шириной 1,2 м в коробке с притвором, открываемая в помещение с избыточным давлением, будет иметь площадь утечки

$$(6,4/5,6) 0,01 = 0,0114 \text{ м}^2,$$

т. е. на 14% больше, чем указано в табл. 5.4.

Поток воздуха через дверь лифтовой площадки также зависит от утечки воздуха из лифтовой шахты, и расчет эффективного потока через эту дверь описан в следующем разделе.

Используя площади утечки воздуха, приведенные выше, а также уравнение (5.1), можно получить значения утечки воздуха через закрытые двери при различной разности давлений, применяемой при проектировании систем подпора воздуха (табл. 5.5).

2. Окна. Во многих зданиях в помещениях с избыточным давлением нет наружных стен и, следовательно, нет оконных про-

ТАБЛИЦА 5.5. УТЕЧКА ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ДВЕРИ (ПРИ $N=2$)

Тип двери	Площадь утечки, м ²	Утечка воздуха, м ³ /с. при разности давлений, Па				
		8	15	20	25	50
Одностворчатая, открывание в помещение с избыточным давлением	0,01	0,0234	0,0320	0,0370	0,0413	0,0585
Одностворчатая, открывание из помещения с избыточным давлением	0,02	0,0468	0,0640	0,0740	0,0827	0,117
Двустворчатая	0,03	0,070	0,096	0,111	0,124	0,175
Дверь лифтовой площадки	0,06	0,14	0,192	0,222	0,248	0,351

ТАБЛИЦА 5.6. УТЕЧКА ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ОКНА (ПРИ $N=1,6$)

Тип окон	Площадь зазоров на 1 м длины, м ²	Утечка воздуха, м ³ /с на 1 м длины зазоров, при разности давлений, Па				
		8	15	20	25	50
Вращающиеся	$2,55 \cdot 10^{-4}$	$0,78 \cdot 10^{-3}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$2,42 \cdot 10^{-3}$
Вращающиеся, при необходимости закрываемые наглухо	$3,61 \cdot 10^{-5}$	$0,11 \cdot 10^{-3}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	$0,20 \cdot 10^{-3}$	$0,22 \cdot 10^{-3}$	$0,35 \cdot 10^{-3}$
Раздвижные	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$0,31 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}$	$0,54 \cdot 10^{-3}$	$0,62 \cdot 10^{-3}$	$0,95 \cdot 10^{-3}$

мов. Однако иногда помещения с избыточным давлением имеют открывающиеся наружу окна; значения утечки воздуха для такого случая приведены в табл. 5.6. В отличие от дверей окна имеют самые разнообразные размеры, поэтому площадь утечки воздуха, приведенная в табл. 5.6, рассчитана на единицу длины зазоров. Для определения утечки воздуха по контуру открываемых окон находят полную длину зазоров и умножают на соответствующие значения, приведенные в табл. 5.6.

Значения табл. 5.6 относятся к различной разности давлений, которая встречается при проектных расчетах. Расход воздуха через заданное окно будет зависеть от полной длины зазоров и разности давлений.

При необходимости определить утечку воздуха при какой-либо другой разности давлений, отличной от приведенной в табл. 5.6, расчет проводят по уравнению

$$Q = 0,827 A P^{1/1,6}, \quad (5.9)$$

где Q — расход воздуха, м³/с; A — полная площадь утечки воздуха через зазоры окон, м²; P — разность давлений, Па.

3. Двери лифтовой площадки. Когда открыта дверь в шахту лифта, то для определения расхода воздуха, поступающего из помещения с избыточным давлением (рис. 5.17), требуется провести специальный расчет. Эффективную площадь потока нельзя принимать равной площади потока через дверь лифта (по данным табл. 5.4), так как воздух с площадки течет через пространство, прилегающее к лифтовой шахте. В этом случае имеется комбинация параллельного и последовательного путей утечки воздуха. Воздух из всех площадок с избыточным давлением будет течь внутрь шахты лифта, так что потоки через все двери лифтов можно считать параллельными, а их полный эффективный поток — последовательным по отношению к потоку воздуха, выходящему из лифтовой шахты наружу через вентиляционные отверстия в верхней части (или через другие отверстия в лифтовой шахте). Как правило, для расчета расхода воздуха через дверь лифта с площадки с избыточным давлением нужно применять следующую формулу:

$$Q = 0,827 \frac{A_1 A_2}{(A_1^2 + A_2^2)^{1/2}} P^{1/2}, \quad (5.10)$$

где Q — полный расход воздуха в лифтовую шахту со всех площадок, м³/с; A_1 — полная площадь утечки между всеми площадками и лифтовой шахтой, м²; A_2 — полная площадь утечки между лифтовой шахтой и пространством без избыточного давления, м²; P — избыточное давление на лифтовой площадке.

Требуемый расход воздуха, поступающего в лифтовую шахту с каждой площадки, может быть найден путем распределения величины Q пропорционально вкладу каждой площадки в A_1 . Обычно каждая площадка соединяется с лифтовой шахтой с помощью одинаковых дверей, и поток воздуха с каждой площадки в лифтовую шахту будет равняться Q/n , а $A_1 = nA_L$, где n — число лифтовых площадок, на которых создается избыточное давление; A_L — площадь утечки через одну лифтовую дверь (принимается по табл. 5.4).

Далее можно провести простой расчет с учетом того, что площадь вентиляционных отверстий в верхней части лифтовой шахты равна 0,1 м². В новых нормах [1] указано, что площадь вентиляционных отверстий не должна быть меньше этого значения. При других размерах отверстий в лифтовой шахте поток воздуха с одной площадки в лифтовую шахту может быть рассчитан по уравнению

$$Q_D = Q_L F/n, \quad (5.11)$$

где Q_D — расход воздуха, поступающего с одной площадки через одну лифтовую дверь; Q_L — утечка воздуха через закрытую лифтовую дверь (значения принимаются по табл. 5.5 или рассчитываются по формуле $Q_L = 0,0496 P^{1/2}$, где P — избыточное давление на площадке); F — коэффициент, зависящий от размеров вентиляционных отверстий в лифтовой шахте (принимается по табл. 5.7); n — число площадок с избыточным давлением, открывающихся в лифтовую шахту.

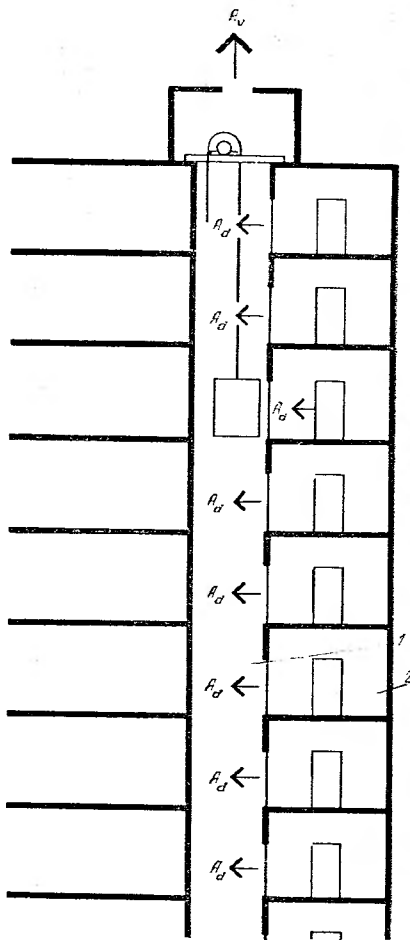


Рис. 5.17. Схема утечек воздуха через двери лифтовых площадок
 A_d — площадь утечки при параллельных потоках; A_v — то же, в сумме с последовательным потоком; 1 — лифтовая шахта; 2 — площадка с избыточным давлением

ТАБЛИЦА 5.7. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА F ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОЩАДИ

Число этажей n	Значения F при площади вентиляционных отверстий, м ²			Число этажей n	Значения F при площади вентиляционных отверстий, м ²		
	0,1	0,16	0,22		0,1	0,16	0,22
1	2	3	4	1	2	3	4
1	0,86	0,94	0,96	8	1,63	2,55	3,33
2	1,28	1,60	1,764	9	1,64	2,56	3,40
3	1,46	1,99	2,32	10	1,645	2,58	3,44
4	1,54	2,22	2,70	12	1,65	2,60	3,51
5	1,58	2,35	2,96	14	1,655	2,62	3,53
6	1,61	2,44	3,13	16	1,66	2,63	3,57
7	1,62	2,49	3,25	Более 16	1,66	2,66	3,66

В табл. 5.7 даны значения F для вентиляционных отверстий трех размеров:

а) значения в графе 2 (вентиляционные отверстия площадью 0,1 м²) применяют, если шахта лифта соединяется с негерметизированным пространством только через вентиляционные отверстия; такой случай при проектировании считается стандартным;

б) значения в графе 3 (вентиляционные отверстия площадью 0,16 м²) применяют, если полная площадь вентиляционных отверстий не превышает указанного значения или кроме вентиляционных отверстий площадью 0,1 м² в верхней части лифтовой шахты на площадку без избыточного давления ведет только одна лифтовая дверь. Эти значения также можно применять для расчетов в случае, когда открыта дверь на одной площадке (см. ниже);

в) значения в графе 4 (вентиляционные отверстия площадью 0,22 м²) применяют, если полная площадь вентиляционных отверстий в верхней части лифтовой шахты не превышает указанного значения или кроме вентиляционных отверстий площадью 0,1 м² в верхней части лифтовой шахты на площадки с избыточным давлением ведут две лифтовые двери. Эти значения также можно применять для расчетов в случае, когда открыты двери на двух площадках.

Если площадь вентиляционных отверстий в лифтовой шахте отличается от значений, приведенных в табл. 5.7, то значение коэффициента F можно рассчитать по формуле

$$F = A_t/A_d; \quad (5.12)$$

$$A_t = [(1/A_v)^2 + (1/n A_d)^2]^{-1/2}, \quad (5.13)$$

где A_t — полная эффективная площадь утечки воздуха из лифтовой шахты; A_d — площадь утечки из одной двери лифта; A_v — площадь утечки через вентиляционные отверстия (или отверстия, ведущие в помещения без избыточного давления); n — число этажей, обслуживаемых лифтом.

Все расчеты, приведенные в этом разделе, относятся к одному лифту, причем принимается, что лифтовая шахта выполнена из

огнестойких конструкций. Для каждого лифта должен быть сделан отдельный расчет. Если в общей шахте находятся два лифта или более, то для расчета достаточно представить, что каждый лифт имеет собственную отдельную шахту, и подставлять значение A_B , соответствующее каждой отдельной шахте (обычно при большой общей шахте значение A_B надо разделить на число лифтов).

Если шахта лифта связана с расположенными друг за другом площадками с избыточным давлением, то в ней не должно быть дверей, ведущих к негерметизированной площадке или помещению, за исключением случаев, когда последние являются частью путей эвакуации или имеется дверь, ведущая на эти пути.

Детальный расчет расхода воздуха через лифтовую дверь достаточно сложен и может показаться запутанным. Однако примеры, приведенные ниже, разъясняют порядок проведения расчетов.

Другие последовательные и параллельные пути утечки воздуха. Комбинации последовательных и параллельных путей утечки воздуха могут возникать и в других случаях (например, для потока в шахтах системы обслуживания), и методы, примененные для лифтовых шахт, после соответствующей корректировки могут использоваться для всех обслуживаемых помещений, включая те, где создается избыточное давление. Когда промежуточные помещения не могут рассматриваться как защищенные, то нельзя считать, что в них создается достаточная герметизация, и метод оценки расхода воздуха может основываться на простых уравнениях (5.1а) и (5.1б).

Площадь туалетов. Часто поток воздуха с большой площадки проходит через туалетные комнаты. Это особый случай, так как рассматриваемые помещения обычно бывают изолированными и их вентилирование осуществляется управляемой системой вытяжки. Расход воздуха будет тогда зависеть от режима работы системы вытяжки:

а) при постоянной работе вытяжного вентилятора (или при его включении в аварийных ситуациях) расход воздуха определяется производительностью вытяжки в $\text{м}^3/\text{с}$;

б) если вытяжной вентилятор не работает в аварийных ситуациях, то расход воздуха рассчитывается по уравнению

$$Q_t = Q K_2, \quad (5.14)$$

ТАБЛИЦА 5.8. ЗНАЧЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА K_2

A_B/A_D	K_2
4 и более	1
2	0,9
1	0,7
0,5	0,45
0,25 и менее	0,25

где Q_t — расход воздуха, проходящего через туалет (или другие помещения); Q — расход через дверь, $\text{м}^3/\text{с}$, при заданном избыточном давлении; принимается по табл. 5.5 или рассчитывается по уравнению (5.1а); K_2 — коэффициент, зависящий от соотношения A_B/A_D (принимается по табл. 5.8); A_B — минимальная площадь поперечного сечения вытяжных каналов, м^2 (это может быть площадь поперечного сечения каналов, маятникового устройства, закрываю-

щего отверстие, или клапана); A_D — площадь утечки воздуха через дверь, исключая вентиляционные решетки или большие щели, м^2 .

Значение A_D , полученное с учетом вентиляционных решеток и (или) свободного потока воздуха, должно использоваться при определении величины Q , когда площадь утечки превышает стандартную суммарную площадь зазоров.

Требуемый расход воздуха. Выше были рассмотрены все возможные пути движения воздуха из лестничных клеток или площадок. При проектировании необходимо определить пути, соответствующие конкретному случаю, и оценить расход воздуха. Расчет полного расхода воздуха из помещения можно провести исходя из подачи воздуха, позволяющей сохранить избыточное давление на требуемом уровне. Это означает, что любое помещение, где создается избыточное давление, должно иметь ограждающие конструкции, обеспечивающие минимальную утечку воздуха.

Монолитные бетонные конструкции обычно имеют удовлетворительную воздухопроницаемость, а блочные элементы часто требуют дополнительной отделки или штукатурки для обеспечения требуемой герметичности. Особое внимание нужно уделить узлам соединения стен между собой и местам примыкания стен к полу и потолку, чтобы исключить возможность оставления зазоров. Последнее особенно важно, если рассмотренные узлы соединения являются конструктивными элементами здания.

При расчете требуемого снабжения воздухом системы подпора необходимо принять две предположки:

площади утечек через каждый компонент, включенный в расчет (двери помещений, лифтов, окна), относятся к полностью законченному зданию;

неустановленные пути утечки воздуха из помещения с избыточным давлением отсутствуют.

Рекомендуется расчетные значения требуемой подачи воздуха увеличить на 25%. Такое увеличение отражает приближенность полученной площади утечки. Здесь не дается никаких указаний относительно утечки воздуха в каналах подачи, так как предполагается, что оборудование обеспечивает требуемую подачу воздуха с учетом потерь в воздуховодах.

Требуемое по расчету количество воздуха должно подаваться непосредственно в рассматриваемое помещение с избыточным давлением, а сохранение в нем заданных условий будет доказательством того, что фактический расход воздуха совпадает с расчетным значением. Однако, прежде чем сформулировать окончательные требования к расходу воздуха, рассмотрим два очень важных случая, для которых в нормах [1] установлены специальные ограничения:

а) эффект открывания двери в помещение с избыточным давлением и расход воздуха через эту дверь;

б) путь (пути), по которому воздух помещения с избыточным давлением удаляется из здания.

Большие отверстия (общий случай). Требуемая герметизация

не может быть достигнута, если существуют большие отверстия в стенах, отделяющих помещение с избыточным давлением от соседних помещений; в этих условиях необходимо рассмотреть возможность применения других способов противодымной защиты. Можно предотвратить поток дыма через рассмотренные отверстия, если поддерживается достаточно высокая скорость при выходе воздуха наружу. Томас [38] показал, что когда имеется постоянное отверстие (не такое, как дверной проем, где полотно двери то открыто, то закрыто), то скорость выхода воздуха должна составлять 3—4 м/с в зависимости от температуры, развивающейся при пожаре. Требуемая скорость зависит от силы пожара и вентиляции; при слабом пожаре достаточно обеспечить минимальную скорость, а при сильном требуется максимальная. Для обеспечения указанных скоростей при прохождении через большие отверстия требуются значительные объемы воздуха, что в рассматриваемых условиях может в большинстве случаев стать практически неосуществимым или неэкономичным.

Открытая дверь. Для нормальной работы каждый эвакуационный путь должен иметь входную дверь, которая время от времени будет открыта. Поэтому при проектировании системы подпора воздуха следует обеспечить требуемую защиту от дыма для случая, когда дверь в защищаемое помещение открыта на короткий период.

Выше было показано, что при наличии большого отверстия между защищаемым и прилегающим к нему помещениями нельзя сохранить требуемую разность давлений; защита от дыма может быть достигнута при обеспечении достаточной скорости течения воздуха через большое отверстие. Если рассматривать дверь как отверстие переменного сечения, то требуемая скорость потока будет ниже, чем для постоянных отверстий, и эта скорость зависит от положения двери. Можно выделить три основных случая:

а) избыточное давление создается только в лестничной клетке, не распространяясь на площадку; в этом случае минимальная скорость прохождения воздуха через открытую дверь должна равняться 0,75 м/с. Когда здание имеет более 20 этажей, такая же скорость должна обеспечиваться при двух открытых дверях на разных этажах;

б) избыточное давление в лестничной клетке и на площадках на каждом этаже создается независимо друг от друга; в этом случае минимальная скорость прохождения воздуха через открытую дверь площадки должна равняться 0,5 м/с при закрытой двери в лестничную клетку. Когда здание имеет более 20 этажей, такая же скорость должна обеспечиваться при открытых дверях на площадках двух этажей. Однако последнее условие должно выполняться с учетом требований п. «в», при этом избыточное давление у закрытой двери в лестничную клетку должно составлять 50 Па;

в) избыточное давление в лестничной клетке и на площадках на каждом этаже создается независимо друг от друга; в этом слу-

чае минимальная скорость прохождения воздуха при двух открытых дверях на площадке одного этажа должна равняться 0,7 м/с. Здесь принимается, что открыта дверь из лестничной клетки на площадку и дверь с площадки в прилегающее помещение. Приведенная скорость движения воздуха относится к каждой открытой двери, а для здания, имеющего более 20 этажей, она должна обеспечиваться при двух открытых дверях на площадках двух этажей.

Подводя итоги, можно сказать, что скорость прохождения воздуха через открытую дверь из помещения с избыточным давлением должна равняться 0,5 м/с при закрытых дверях в лестничную клетку и 0,7 м/с, если дверь в лестничную клетку открыта. Такие значения скорости могут быть достигнуты только в том случае, когда имеется достаточный поток воздуха из прилегающей части здания. Двери с площадок или из лестничных клеток должны открываться на каждом этаже непосредственно в помещения без избыточного давления, а эти помещения должны иметь свободную планировку без перегородок.

В противном случае, когда двери лестничных клеток или площадок ведут в коридоры (или другие аналогичные помещения) на перегороденных этажах, следует оценивать расход воздуха из дверей лестничной клетки и площадок при условии, что другие двери в перегороденных помещениях открыты; другими словами, без такого допущения не будет обеспечен достаточный расход воздуха из здания. При проведении проектных расчетов необходимо установить значения скорости выхода воздуха, когда указанные выше двери открыты. Точно рассчитать эту скорость трудно, поскольку имеется слишком много переменных. Поэтому ограничиваются приближенным расчетом, приведенным в приложении А.

Если требуемая скорость воздуха не достигается, то необходимо увеличивать объем воздуха, подаваемого в лестничную клетку, до тех пор, пока не будут выполняться требования его прохождения через открытую дверь. При необходимости в лестничной клетке может быть сделано дополнительное постоянное отверстие (или отверстия), предотвращающее возрастание давления свыше 50 Па при всех закрытых дверях. Дополнительное отверстие может быть оборудовано предохранительным клапаном, открывающимся только в том случае, когда давление достигнет, например, 60 Па. Обычно клапан устанавливается в отверстие между помещением с избыточным давлением и другим внутренним помещением (рис. 5.18).

Площадь отверстия, закрываемого предохранительным клапаном, рассчитывают с помощью

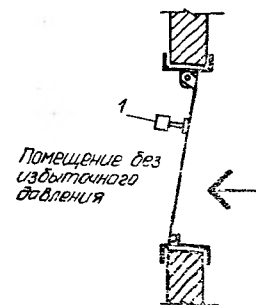


Рис. 5.18. Конструкция предохранительного клапана (клапан открывается, если давление превысит 60 Па)
1 — заданная масса

уравнения (5.1), связывающего давление, расход воздуха и площадь течения. Если Q_A — дополнительный объем воздуха, м³/с, который требуется подать при открытой двери, A — площадь предохранительного клапана, м², и уровень давления, принятый при проектировании, равен 50 Па, то получим

$$A = Q_A / 5,85. \quad (5.15)$$

5.5.2. Основные требования по снабжению воздухом помещений с избыточным давлением. Рассмотрим помещения, в которых обычно создается избыточное давление.

1. Лестничные клетки. Когда избыточное давление создается в нескольких лестничных клетках здания, каждая из них должна иметь независимую систему подачи воздуха. Воздух, подаваемый в лестничную клетку, должен быть равномерно распределен по всей ее высоте. Его можно подавать сверху или снизу по каналам, снабженным решетками, которые отстоят друг от друга на расстояние, не превышающее высоты трех этажей. Приточные отверстия должны быть выполнены так, чтобы через каждую решетку поступало одинаковое количество воздуха. Это означает, что подача воздуха через одну точку допускается только в том случае, если здание имеет три этажа и менее.

2. Площадки. В общем случае избыточное давление на площадках может создаваться с помощью обычных вентиляторов и системы каналов, оборудованных распределительным устройством, которое обеспечивает подачу требуемого количества воздуха на каждую площадку. Однако при проектировании каналов следует предусмотреть условия, при которых снижение давления на одной или двух площадках из-за открывания дверей не оказывает заметного влияния на систему подачи воздуха на другие площадки. Если в схему входят лестничная клетка и прилегающая площадка, то может быть использован обычный приточный вентилятор с двумя независимыми каналами: один — для лестничной клетки, а другой — для площадки. Когда с одной общей площадки имеется доступ к нескольким лестничным клеткам, для каждой лестничной клетки нужно применять независимую систему подпора воздуха, и все системы или одну из них можно использовать для снабжения воздухом площадки по независимой системе каналов.

3. Зазоры вокруг дверей. При проектировании системы подпора воздуха необходимо знать утечки воздуха через двери, окна и другие элементы, чтобы правильно рассчитать мощности вентиляторов и размеры воздуховодов. При этом необходимо обеспечить следующее:

расчетная суммарная площадь утечки воздуха, найденная по данным табл. 5.4 и 5.6, должна быть приемлемой для отдельных элементов рассматриваемого здания (двери, окна и т. д.);

конструкция рассматриваемых элементов должна соответствовать условиям, принятым в расчете.

Последнее соображение особенно важно, так как обычно трудности возникают в связи с зазором между дверью и полом. Если,

например, из-за переменной толщины перекрытия между дверью и полом возникает большой зазор, то этот факт, несущественный с точки зрения огнестойкости, может оказать значительное влияние на работу системы подпора воздуха. Неравномерность толщины перекрытия оказывает влияние на воздухопроницаемость всех дверей здания.

4. Противопожарные клапаны в каналах. Поскольку система подпора воздуха должна непрерывно работать в период пожара, каналы, по которым подается воздух, следует располагать в здании так, чтобы не возникала необходимость в установке противопожарных клапанов. В каналах, расположенных в огнестойких шахтах, как правило, установки противопожарных клапанов не требуется.

5.5.3. Удаление воздуха из помещений с избыточным давлением. На последнем этапе проектирования системы подпора воздуха необходимо решить вопрос о том, как и где будет удаляться из здания воздух, создающий избыточное давление. Удаление воздуха является составной частью системы подпора воздуха, поэтому могут понадобиться специальные вытяжные устройства. Принципиальное требование к системе противодымной защиты заключается в том, что при любых условиях поддерживается избыточное давление у двери, отделяющей защищаемое помещение от прилегающих к нему незащищаемых помещений, или обеспечивается определенный поток воздуха через открытую дверь. Кроме того, предполагается, что стабильный поток воздуха через помещения, не имеющие избыточного давления, постоянно отводит дым и горячие газы от дверей, ведущих на эвакуационные пути. Рассмотренные требования не могут быть выполнены без удаления воздуха, поступающего в прилегающие помещения из помещения с избыточным давлением, через двери с низким сопротивлением воздушному потоку.

Удаление сжатого воздуха может производиться следующими четырьмя способами: через окна, через специальные вентиляционные отверстия по периметру здания, по вертикальным шахтам и с помощью механической вытяжки.

Ниже рассмотрены эти способы и приведены требуемые объемы сжатого воздуха, поступившего на этаж, Q_N , м³/с, при открытой двери.

Удаление воздуха через окна. Если в здании имеются открываемые окна на каждом этаже, то утечка воздуха через зазоры может быть достаточной для создания требуемой степени вентилирования. В табл. 5.9 приведена полная длина зазоров в оконных проемах, достаточная для удаления сжатого воздуха.

При определении суммарной длины зазоров необходимо с учетом неблагоприятных ветровых условий принимать в расчет окна только по одной стороне здания. При неравномерном распределении потока воздуха у наружных стен в расчет должна включаться сторона здания с наибольшей площадью окон.

Специальные вентиляционные отверстия, расположенные по

ТАБЛИЦА 5.9. МИНИМАЛЬНАЯ СУММАРНАЯ ДЛИНА ЗАЗОРОВ
У ОКОН НА ОДНОМ ЭТАЖЕ, ДОСТАТОЧНАЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Тип окон	Рекомендуемая длина зазоров, м	
	в зависимости от значения Q_N	при скорости потока через открытую дверь 0,5 м/с и $Q_N=0,8$ м³/с
Вращающиеся без уплотнений	1200 Q_N	960
Вращающиеся с уплотнениями	3000 Q_N	2400
Раздвижные	8300 Q_N	6640

периметру здания. В зданиях с глухими стенами или малым числом открываемых окон необходимое удаление воздуха может быть обеспечено с помощью специальных вентиляционных отверстий в наружных стенах. Эти отверстия должны располагаться по возможности равномерно по периметру здания. Требуемое минимальное значение полной эффективной площади вентиляционных отверстий на этаже равно $Q_N/2,5$ м². При одной открытой двери, через которую поступает воздух со скоростью 0,5 м/с, требуемая минимальная площадь вентиляционных отверстий должна составлять 0,32 м². Практически, если возможно, следует принимать площадь больше минимальной. Кроме того, следует учесть возможность неблагоприятного ветрового воздействия и при определении эффективной площади вентиляционных отверстий включать в расчет только одну сторону здания; если вентиляционные отверстия распределены неравномерно, то в расчет принимается сторона здания с наибольшей площадью вентиляционных отверстий.

Проектирование вентиляционных отверстий. Маловероятно, чтобы в условиях нормальной эксплуатации здания допускалось наличие постоянно открытых отверстий. Вентиляционные отверстия должны быть спроектированы так, чтобы они открывались только в аварийных ситуациях, когда начинает действовать система подпора воздуха. Конструкция вентиляционных отверстий должна отвечать следующим требованиям (рис. 5.19):

запирающие створки должны надежно удерживаться в закрытом положении (или иметь опору);

при включении подпора воздуха в аварийной ситуации запоры вентиляционных отверстий должны открываться так, чтобы воздух свободно выходил наружу без преодоления сопротивления створок;

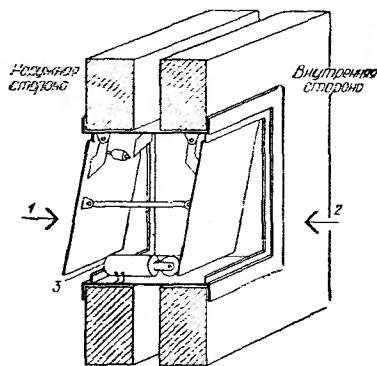


Рис. 5.19. Пример конструкции вентиляционного отверстия для удаления сжатого воздуха через наружную стену

1 — сильный ветер стремится закрыть створку; 2 — сжатый воздух; 3 — электромагнит удерживает створки в закрытом положении (система безопасности)

при неблагоприятных ветровых условиях створки должны иметь возможность закрывать вентиляционные отверстия на некотором участке стены;

если предполагается применить автоматически открывающиеся вентиляционные отверстия, то рекомендуется, чтобы они открывались только на том этаже, где произошел пожар. На всех остальных этажах, несмотря на работу системы подпора воздуха, вентиляционные отверстия должны оставаться закрытыми. При проектировании необходимо учитывать возможность возникновения пожара на любом этаже.

Вентиляция с помощью вертикальных шахт. Применение вертикальных шахт является эффективным способом удаления сжатого воздуха из полностью закрытых помещений зданий. Шахты и вентиляционные отверстия должны иметь следующие минимальные размеры:

$$A_b = Q_N/2, \quad (5.16)$$

где A_b — площадь проходного сечения вентиляционных отверстий в шахте на одном этаже, м².

При скорости потока воздуха через открытую дверь 0,5 м/с:

$$Q_N = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}; \quad A_b = 0,4 \text{ м}^2. \quad (5.17)$$

Размеры шахты и площадь вентиляционных отверстий в верхней ее части не должны быть меньше площади вентиляционных отверстий на одном этаже. Требуемые значения могут быть получены путем использования нескольких мелких шахт, распределенных в рассматриваемом помещении.

Если вентиляционные отверстия в вертикальных шахтах, ведущих с соответствующего этажа, постоянно открыты, то каждый этаж должен быть снабжен другой независимой шахтой или запасной системой каналов для предотвращения распространения дыма и огня между этажами. В шахтах, предназначенных для удаления сжатого воздуха, нельзя применять противопожарные клапаны.

Однако применение постоянно открытых вентиляционных отверстий нежелательно, поэтому обычно отдают предпочтение автоматическим устройствам для открывания отверстий в шахтах. В этом случае применяется общая шахта для всех этажей с вентиляционными отверстиями, закрытыми на каждом этаже в обычных условиях и открывающимися в аварийной ситуации только на том этаже, где возник пожар, при включении в работу системы подпора воздуха.

Применение вертикальных шахт для удаления сжатого воздуха имеет по крайней мере два важных преимущества:

исключаются недостатки, связанные с неблагоприятными ветровыми условиями, так как может быть осуществлен выпуск воздуха вертикально вверх (с помощью соответствующего дефлектора);

в вертикальной шахте, заполненной нагретым дымом, развива-

ется дополнительная тяга, оказывающая существенную помощь в работе системы подпора воздуха [35].

Применение механической вытяжки. Удаление сжатого воздуха с помощью механической вытяжки обеспечивает надежную работу системы подпора воздуха. При применении этого способа важно соблюдать следующие требования:

скорость вытяжки на одном этаже не должна быть меньше, чем Q_N ;

система (каналы и вентиляторы) должна выдерживать воздействие повышенных температур (500°C) в течение требуемого периода;

дым и огонь не должны распространяться с этажа на этаж.

Эти требования могут быть удовлетворены при наличии независимой вытяжной системы на каждом этаже.

Возможен другой вариант, при котором применяется общая вытяжная система для всех этажей, причем во время пожара каналы на всех этажах, кроме охваченного огнем, закрыты огнестойкими клапанами, а клапаны в каналах этажа, где произошел пожар, открыты. Любая система каналов должна быть спроектирована так, чтобы их конструкция обладала требуемой огнестойкостью, а при использовании общей системы каналов необходимо так рассчитать ее производительность, чтобы на горящем этаже была обеспечена вытяжка, равная Q_N .

ТАБЛИЦА 5.10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

План здания	Окна	Вентиляция	Система вентиляции	
			основные способы	дополнительные или альтернативные способы (при необходимости)
Без перегородок	Открывающиеся без прокладок	Естественная	Естественная утечка (утечка через окна)	—
		Естественная или механическая	Естественная утечка или вертикальные шахты	Вентиляционные отверстия по периметру или механическая вытяжка
	Раздвижные	Механическая	Вентиляционные отверстия по периметру или вертикальные шахты	Механическая вытяжка
С большим числом перегородок на этаже	Открывающиеся без прокладок	Естественная	Естественная утечка (утечка через окна)	—
		Естественная или механическая	Естественная утечка или вентиляционные отверстия по периметру	Вертикальные шахты или механическая вытяжка
	Раздвижные	Механическая	Вентиляционные отверстия по периметру	Вертикальные шахты или механическая вытяжка

Необходимо еще раз подчеркнуть важность правильного проектирования системы удаления сжатого воздуха из здания. В табл. 5.10 сведены вместе различные способы удаления воздуха и даны рекомендации по их применению.

5.5.4. Последовательность проектирования системы подпора воздуха в здании. Проектирование производят в следующем порядке:

а) рассматривают различные предложения по обеспечению противопожарной защиты и устанавливают возможность или необходимость перепланировки здания, если решено применить систему подпора воздуха;

б) выбирают помещения, в которых будет создаваться избыточное давление, и рассматривают возможность взаимодействия между этими и негерметизируемыми помещениями;

в) принимают решение относительно типа системы — одной или двухступенчатая — и назначают избыточное давление, которое должно поддерживаться в аварийной ситуации, а также, если необходимо, давление, соответствующее работе системы на пониженной мощности (см. табл. 5.2);

г) устанавливают все пути, по которым возможна утечка воздуха из помещения с избыточным давлением, и определяют величину утечки по каждому пути, исходя из соответствующей разности давлений;

д) определяют полный расход воздуха наружу из каждого помещения с избыточным давлением и добавляют к найденному значению 25% в соответствии с соображениями, приведенными выше. В результате будет получен объем, требуемый для снабжения воздухом каждого помещения с избыточным давлением;

е) находят скорость движения воздуха через открытую дверь с помощью способа, описанного в приложении А. Если найденная скорость не отвечает установленным требованиям, то объем снабжения воздухом должен быть увеличен;

ж) обеспечивают подачу воздуха (в количестве, рассчитанном в пп. «д» и «е») по системе каналов в каждое помещение, где создается избыточное давление. Размещение каналов должно быть согласовано с архитектором и компетентными лицами;

и) назначают мощность вентиляторов и размеры каналов; этот расчет с учетом ряда дополнительных требований должен выполнять компетентный инженер. Положение вентиляционных решеток должно быть согласовано с архитектором и компетентными специалистами по установке оборудования;

к) рассчитывают количество сжатого воздуха, которое должно быть удалено из здания, и выбирают соответствующий способ вентилирования;

л) задают режим работы системы и, если необходимо, устанавливают положение датчиков дыма;

м) передают архитектору сведения о заложенных в расчет площадях утечки воздуха, с тем чтобы эти площади были обеспечены после завершения строительства здания;

н) проводят измерения для обоснования удовлетворительной работы оборудования в период эксплуатации здания.

Пример расчета приведен в приложении Б.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *British Standard B. S. 5588* (1978). Code Practice for Fire Precautions in the Design of Buildings. Part 4. Smoke Control in Protected Escape Routes using Pressurization. British Standard Institution, London.
2. *Malhotra, H. L.* (1967). Movement of smoke on escape routes. Part 3. Effect of permanent openings in external walls. Fire Research Note No. 653, Fire Research Station, Borehamwood, England.
3. *Wilkinson, J.* (1969). The Worthing A. A. C. system, automatic air flow control system for escape routes in multi-storey blocks of flats. Paper 11, Fire Research Station Symposium No. 4, Movement of smoke in escape routes in buildings. Watford 1969. HMSO 1971.
4. *Fire Protection Code* for Buildings over 150 ft in Height, Interim. (1957). Amendment to Height of Building Act 1957. State Planning Authority of New South Wales, Australia.
5. *Malhotra, H. L. and Millbank, N.* (1964). Movement of smoke in escape routes and effect of pressurization. Results of some tests performed in a new department store. Fire Research Note No. 566, Fire Research Station, Borehamwood, England.
6. *Butcher, E. G., Fardell, P. J. and Clarke, J. J.* (1969). Pressurization as a means of controlling the movement of smoke and toxic gases on escape routes. Paper 5, Fire Research Station Symposium No. 4, Movement of smoke on escape routes in buildings. Watford 1969. HMSO 1971.
7. *Fire Research* 1969. Pressurization and the open door. Annual Report of Fire Research Station, 1969, p. 25. HMSO 1970.
8. *Butcher, E. G., Fardell, P. J. and Clarke, J. J.* (1969). Prediction of the behaviour of smoke in a building using a computer. Paper 9, Fire Research Station Symposium No. 4, Movement of smoke on escape routes in buildings. Watford 1969. HMSO 1971.
9. *Tamura, G. T.* (1969). Computer analysis of smoke movement in tall buildings. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Trans.*, 75, Pt. II, 81.
10. *Barrett, R. E. and Locklin, D. W.* (1969). A computer technique for predicting smoke movement in tall buildings. Paper 10, Fire Research Station Symposium No. 4, Movement of smoke on escape routes. Watford 1969. HMSO 1971.
11. *Wakamatsu, T.* (1975). Unsteady state calculation of smoke movement in an actually fired building. Paper 8, C. I. B. Symposium, Control of smoke movement in building fires, Watford 1975. Organized by Fire Research Station, Borehamwood, England.
12. *Shannon, J. M. A.* (1975). Computer analysis of the movement and control of smoke in buildings with mechanical and natural ventilation. Paper 9, S. I. B. Symposium, Control of smoke movement in building fires, Watford 1975. Organized by Fire Research Station, Borehamwood, England.
13. *Appleton, I. C.* (1975). A model of smoke movement in buildings. Paper 10, C. I. B. Symposium, Control of smoke movement in building fires. Watford 1975. Organized by Fire Research Station, Borehamwood, England.
14. *Hobson, P. J. and Stewart, L. J.* (1972). Pressurization of escape routes in buildings. Fire Research Note No. 958, Fire Research Station, Borehamwood, England.
15. *National Fire Protection Association* (1959). Operation school burning. Official report on tests conducted by the Los Angeles Fire Department, U. S. A.
16. *Commonwealth Experimental Building Station* (1972). Flame spread and smoke tests. C. E. B. S., R. F. No. 35, New South Wales, Australia.
17. *Galbreath, M.* (1969). Time for evacuation by stairs in high buildings. *Fire Fighting in Canada*, 13, No. 1.
18. *Tamura, G. T. and Wilson, A. G.* (1968). Pressure differences caused by wind on two tall buildings. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 74, Pt. II, 170.
19. *Tamura, G. T. and Wilson, A. G.* (1966). Pressure differences for a 9-storey building as a result of chimney effect and ventilation system in operation. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 72, Pt. I, 180.
20. *Tamura, G. T. and Wilson, A. G.* (1967). Building pressures caused by chimney action in 3 high buildings. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 73, Pt. II, 1.1—1.10.
21. *Tamura, G. T. and Wilson, A. G.* (1967). Building pressures caused by chimney action and mechanical ventilation. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 73, Pt. II, 2.1—2.9.
22. *Tamura, G. T.* (1969). Computer analysis of smoke movement in tall buildings. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 75, Pt. II, 81.
23. *Tamura, G. T.* (1970). Analysis of smoke shafts for control of smoke movement in buildings. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 76, Pt. II, 290.
24. *Tamura, G. T. and Wilson, A. G.* (1970). Natural venting to control smoke movement in buildings, via vertical shafts. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Trans.*, 76, Pt. II, 279.
25. *National Research Council of Canada* (1970). Explanatory paper on control of smoke movement in high buildings. N. R. C. Report No. 11413, Ottawa, Canada.
26. *Uniform Building Code, U. S. A.* (1970). Smoke proof enclosures. Vol. 3, 1970. Housing section 3309.
27. *Los Angeles Fire Department* (1966). Vertical Enclosures. Report published by L. A. Fire Department 1966. U. S. A.
28. *Los Angeles Fire Department* (1970). Mechanically ventilated smoke proof enclosures. City of Los Angeles B. F. P. and P. A. Requirement No. 56, U. S. A.
29. *Degenkolb, J. G.* (1971). Smoke proof enclosures. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Journ.*, April, 33—8.
30. *Centre Scientifique et Technique du Batiment* (1971). C. S. T. B. Report No. 70—4340. 28 May 1971.
31. *Riou, J.* (1972). Smoke extraction in buildings. A solution. *Fire International*, 37, 41—54.
32. *Cabret, A. and Ferrie, M.* (1969). Smoke protection of escape routes in buildings. Paper 6, Fire Research Station Symposium No. 4, Movement of smoke in escape routes. Watford 1969. HMSO 1971.
33. *DeCicco, P. R., Cresci, R. J. and Corrales, W. H.* (1972). Fire tests, analysis and evaluation of stair pressurization and exhaust in high rise office buildings. Report published by Center for Urban Environmental Studies, Polytechnic Institute of Brooklyn, New York, U. S. A.
34. *Koplon, N. E.* (1973). Report of the Henry Grady fire tests. Report published by City of Atlanta Building Department, Atlanta, Georgia, U. S. A.
35. *Butcher, E. G., Parnell, A. C. and Eastham, G.* (1976). Smoke control by pressurization. *Fire Engineers' Journal*, 36, 103, 16—19.
36. *Fire Check Consultants* (1976). Fire set in a new building to test smoke control by pressurization. *Fire July* 1976, 71—3.
37. *Butcher, E. G., Cottle, T. H. and Bailey, T. A.* (1971). Smoke tests in the pressurized stairs and lobbies of a 26-storey office building. *The Building Services Engineer*, 39, 206—10. Building Research Establishment, Current Paper CP 474.
38. *Thomas, P. H.* (1968). Movement of smoke in horizontal corridors against an air flow. Fire Research Note No. 723, Fire Research Station, Borehamwood, England. *Inst. Fire Engineers' Quarterly* 1970, 30, 77, 45—53.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. МЕТОД ОЦЕНКИ РАСХОДА ВОЗДУХА, ПОСТУПАЮЩЕГО ЧЕРЕЗ ОТКРЫТУЮ ДВЕРЬ

Способы расчета расхода воздуха через открытую дверь, приведенные в данном приложении, являются приближенными, но дают достаточно точные результаты, позволяющие во многих случаях значительно упростить расчетную процедуру. Неустойчивость потока воздуха в реальных условиях не дает основания для усложнения способов расчета.

При использовании приведенного ниже способа исходят из того, что здание имеет простой план. Требуемая скорость воздуха при открытой двери может быть получена в том случае, когда вентиляция, примененная в практических условиях, слабее запроектированной. Как правило, для получения значений, близких к требуемым, скорость воздуха, найденную в рассматриваемых расчетах, нужно умножить на понижающий коэффициент 0,6.

Во всех расчетах рассматривается одностворчатая дверь площадью 1,6 м².
5 А.1. Избыточное давление только в лестничной клетке. В этом случае расчет производят следующим образом:

а) для зданий высотой десять этажей или менее можно принять, что весь воздух, подаваемый в лестничную клетку, будет выходить наружу через открытую дверь;

б) в зданиях высотой более десяти этажей необходимо определить полную площадь утечки воздуха через все двери (закрытые) в лестничной клетке (плюс некоторые другие отверстия) и установить, какая часть подаваемого воздуха будет выходить наружу.

Пример. Если в 20-этажном здании в лестничной клетке имеется 21 двустворчатая дверь, то полная площадь утечки воздуха при закрытых дверях (одна дверь открыта) будет равна $(21-1)0,03$ м². Следовательно, соотношение между подаваемым воздухом и выходящим наружу через открытую дверь составит

$$\frac{1,6}{1,6 + (21 - 1) 0,03} = 0,727.$$

После проведения расчетов результаты необходимо умножить на коэффициент 0,6.

5 А.2. Применение независимой системы подпора воздуха в лестничных клетках и на площадках каждого этажа (открыта одна дверь с площадки в прилегающее помещение).

Площадки не связаны с лифтовыми шахтами. Полный расход воздуха наружу через открытую дверь с площадки в прилегающее помещение будет равняться сумме расходов:

- воздуха, подаваемого на площадку по каналу снабжения;
- воздуха, проникающего через закрытую дверь из лестничной клетки на площадку.

При расчете по «б» исходят из того, что в лестничной клетке сохраняется проектное давление, а давление на площадке при открытой двери падает до нуля. Таким образом, можно применять значения по табл. 5.5.

Площадки связаны с одной или несколькими лифтовыми шахтами. Полный расход воздуха наружу через открытую дверь с площадки в прилегающее помещение будет равняться сумме расходов:

- воздуха, подаваемого на площадку по каналу снабжения;
- воздуха, проникающего через закрытую дверь из лестничной клетки на площадку (рассчитывается так же, как в п. «б»);
- воздуха, проникающего через закрытую дверь лифта каждой лифтовой шахты. В данном случае принимают, что расход воздуха внутрь каждой лифтовой шахты соответствует проектным значениям. Примерно $1/3$ расхода будет проникать через закрытую дверь лифта на площадку при открытой двери с площадки в прилегающее помещение. Это соотношение сохраняется для каждой лифтовой шахты.

Если в здании имеются две площадки с одной открытой дверью, то примерно $1/4$ полного расхода воздуха, поступающего в каждую лифтовую шахту, будет проникать на каждую площадку.

После проведения расчетов для рассмотренных случаев результаты необходимо умножить на коэффициент 0,6.

5 А.3. Применение независимой системы подпора воздуха в лестничных клетках и на площадках каждого этажа (открыты две двери на одной площадке: одна — из лестничной клетки на площадку, другая — с площадки в прилегающее помещение).

Площадки не связаны с лифтовой шахтой (шахтами). Полный расход воздуха через дверь между площадкой и лестничной клеткой будет равняться сумме расходов:

- воздуха, подаваемого в лестничную клетку по каналу снабжения;
- воздуха, проникающего в лестничную клетку через закрытые двери на всех остальных площадках; расход его рассчитывают по формуле

$$Q_T = Q_L \frac{A_D}{A_T} (n - 1), \quad (5. A1)$$

где Q_T — расход воздуха, проходящего в лестничную клетку со всех площадок, имеющих закрытые двери; Q_L — воздух, подаваемый по каналу на одну площадку, где создается избыточное давление; A_D — площадь утечки воздуха через закрытую дверь между площадкой и лестничной клеткой (принимается равной на всех этажах); A_T — полная площадь утечки воздуха с каждой площадки ($A_T = A_D + A_L$); A_L — площадь утечки воздуха на каждой площадке, принятая при проектировании; n — число этажей, где на площадках создается избыточное давление.

Если обе двери на двух площадках в здании открыты, то расход воздуха через дверь из лестничной клетки на каждую площадку будет равняться половине значений Q_L и Q_T и множитель $(n - 1)$ в уравнении (5. A1) должен быть заменен на $(n - 2)$.

Расход воздуха через вторую дверь площадки (т. е. дверь с площадки в прилегающее помещение) будет равняться сумме расходов:

- воздуха, подаваемого на площадку по каналу снабжения;
- воздуха, поступающего из лестничной клетки через открытую дверь на площадку (приближенно рассчитывается так же, как описано выше для одной площадки или двух площадок с двумя открытыми дверями).

Площадки связаны с лифтовой шахтой (шахтами). Полный расход воздуха, проходящего через дверь с площадки в лестничную клетку, будет равняться сумме расходов:

- воздуха, подаваемого в лестничную клетку по каналу снабжения;
- воздуха, проникающего в лестничную клетку через закрытые двери на всех остальных площадках.

Расход воздуха в последнем случае рассчитывают по формуле

$$Q_T = Q_L \frac{A_D}{[A_D + A_L + (m/n) A_E F]} (n - 1), \quad (5. A2)$$

где Q_T — расход воздуха, проходящего в лестничную клетку со всех площадок, имеющих закрытые двери; Q_L — воздух, подаваемый по каналу на одну площадку, где создается избыточное давление; A_D — площадь утечки воздуха через закрытую дверь между площадкой и лестничной клеткой (принимается равной на всех этажах); A_E — площадь утечки воздуха через входную дверь в лифт (обычно принимается равной 0,06 м²); A_L — площадь утечки воздуха на каждой площадке, принятая при проектировании, за исключением утечки через дверь в лифт; n — число этажей; m — число отверстий в лифтовых шахтах на каждой площадке; F — коэффициент, принимаемый для соответствующего числа этажей по графе 3 или 4 табл. 5.7 в зависимости от того, на одной или двух площадках в здании открыты две двери. В последнем случае множитель $(n - 1)$ в уравнении (5. A2) должен быть заменен на $(n - 2)$.

Полный расход воздуха через открытую дверь из лестничной клетки на площадку составит

$$Q_S + Q_T,$$

где Q_S — воздух, подаваемый в лестничную клетку по каналу снабжения.

Расход воздуха через открытую дверь между площадкой лифта и прилегающим помещением будет равняться сумме расходов:

- а) полного расхода воздуха на площадку из лестничной клетки $Q_S + Q_T$;
- б) воздуха, подаваемого на каждую площадку по каналу снабжения, Q_L ;
- в) воздуха, проникающего из всех лифтовых шахт через закрытые двери лифта, Q_A .

В последнем случае расход воздуха рассчитывают по формуле

$$Q_A = \frac{m}{3} \left[\frac{F Q_L A_E}{A_D + A'_L + A_E F (m/n)} \right]. \quad (5. A3)$$

Если на каждой из двух площадок имеются две открытые двери, то в уравнении (5. A3) вместо множителя $m/3$ надо подставить множитель $m/4$, а значение F принимать по графе 4 табл. 5.7.

Сумма пп. «а», «б» и «в», приведенных выше, т. е. расход воздуха, проходящего через открытую дверь из лифтовой площадки в прилегающее помещение, может быть найдена с помощью следующего выражения:

полный расход воздуха через дверь =

$$= Q_S + Q_L \left[\frac{A'_L + n A_D + [(m/n) + (m/3)] A_E F}{A_D + A'_L + (m/n) A_E F} \right]. \quad (5. A4)$$

Расходы воздуха, рассчитанные для рассмотренных здесь случаев, по изложенным выше соображениям должны быть умножены на коэффициент 0,6.

Скорость движения воздуха через открытую дверь. Детальные расчеты, рассмотренные в данном приложении, позволяют определить расходы воздуха, проходящего через открытую дверь.

Можно принять, что воздух проходит через одностворчатую дверь (или через одну открытую створку двустворчатой двери) площадью $1,6 \text{ м}^2$. Следовательно, чтобы выразить расход воздуха через дверь в единицах скорости, необходимо найденный выше объемный расход в $\text{м}^3/\text{с}$ разделить на площадь двери $1,6 \text{ м}^2$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДПОРА ВОЗДУХА

В данном примере рассматривается простое, относительно небольшое здание с одной дверью из лестничной клетки на маленькую лифтовую площадку на каждом этаже (рис. 5.20). Приведем некоторые характеристики здания, необходимые для расчета:

- здание шестизэтажное, включая наземный этаж;
- в лестничной клетке имеются шесть одностворчатых дверей, ведущих на лифтовую площадку каждого этажа, и одна двустворчатая наружная дверь на уровне земли;
- на лифтовой площадке на каждом этаже имеется одна дверь в лифт и одна двустворчатая дверь в прилегающее помещение;
- воздух из лифтовой шахты может выходить наружу только через вентиляционные отверстия площадью $0,1 \text{ м}^2$ в верхней части шахты.

Для полной иллюстрации всего процесса проектирования будут рассмотрены все двенадцать стадий, описанных в гл. 5.

1. Обсуждают различные предложения по обеспечению противодымной защиты в здании и выясняют возможность или необходимость соответствующей перепланировки для устройства системы подпора воздуха. Перепланировка может не потребоваться, но здание с более гибкой планировкой всегда

предпочтительнее, так как лестничные клетки и площадки не обязательно примыкают к наружным стенам. Здание должно иметь каналы для подачи воздуха в лестничную клетку и на площадку с избыточным давлением, а перед приточным вентилятором необходимо предусмотреть свободное пространство.

2. Выбирают помещения, в которых будет создаваться избыточное давление, и рассматривают возможность взаимодействия между этими и негерметизируемыми помещениями. Предусматривают независимую систему подпора воздуха в лестничной клетке и на лифтовой площадке. Это не должно ухудшить взаимодействие между помещениями с избыточным давлением и без него.

3. Принимают решение относительно типа системы — одно- или двухступенчатая — и назначают уровень избыточного давления, который должен создаваться в аварийной ситуации, а также, если необходимо, уровень давления, соответствующий работе системы на пониженной мощности. При применении двухступенчатой системы в здании уровень избыточного давления в аварийной ситуации принимается равным 50 Па, а пониженный уровень для нормальных условий эксплуатации — 8 Па (при высоте здания до 25 м).

4. Устанавливают все пути, по которым возможна утечка воздуха из помещения с избыточным давлением, и определяют долю утечки по каждому пути, исходя из соответствующей разности давлений.

Лестничная клетка:

1) шесть дверей ведут на лифтовые площадки. Поскольку уровень избыточного давления в лестничной клетке и на лифтовой площадке одинаков, то через двери, соединяющие эти помещения, утечки воздуха не будет;

2) другим путем утечки воздуха из лестничной клетки является наружная двустворчатая дверь в наземном этаже. Таким образом, площадь утечки воздуха из лестничной клетки наружу составит около $0,03 \text{ м}^2$ в соответствии с табл. 5.4, а необходимый расход воздуха, подаваемого для создания в нормальных условиях избыточного давления 8 Па, — около $0,070 \text{ м}^3/\text{с}$ в соответствии с табл. 5.5; по этой же таблице находим, что для создания в аварийной ситуации избыточного давления 50 Па необходимо подать воздух в количестве около $0,175 \text{ м}^3/\text{с}$.

Лифтовая площадка. На каждой лифтовой площадке имеется одна двустворчатая дверь в прилегающее помещение и одна дверь в лифтовую шахту (дверь в лестничную клетку, где нет утечки воздуха, в расчет не принимается). Площадь утечки через двустворчатую дверь в соответствии с табл. 5.4 составляет около $0,06 \text{ м}^2$.

По табл. 5.5 находим следующие расходы воздуха в $\text{м}^3/\text{с}$, которые необходимо подать в рассматриваемые помещения:

	8 Па	50 Па
двустворчатая дверь	0,070	0,175
дверь в лифтовую шахту (приближенные значения)	0,14	0,351

Поскольку рассматривается шестизэтажное здание и в верхней части лифтовой шахты предусмотрены вентиляционные отверстия площадью $0,1 \text{ м}^2$, значение коэффициента F , которое применяется для определения фактической утечки воздуха с каждой площадки в лифтовую шахту, принимают равным 1,61 в соответствии с графой 2 табл. 5.7. Отсюда фактический расход воздуха в лифтовой шахте будет равен:

$$\text{при } 8 \text{ Па: } \frac{0,14 \cdot 1,61}{6} = 0,0376 \text{ м}^3/\text{с};$$

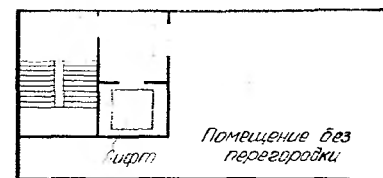


Рис. 5.20. План здания, принятого в качестве примера при проектировании системы подпора воздуха

при 50 Па: $\frac{0,351 \cdot 1,61}{6} = 0,0942 \text{ м}^3/\text{с}.$

5. Определяют полный расход воздуха наружу из каждого помещения с избыточным давлением и добавляют к найденному значению 25% в соответствии с соображениями, приведенными выше. Таким образом, требуемые объемы снабжения воздухом каждого помещения с избыточным давлением составляют, $\text{м}^3/\text{с}$:

лестничная клетка:	8 Па	50 Па
полный расход воздуха с добавлением 25%	0,070	0,175
лифтовая площадка (каждая):	0,0875	0,219
полный расход воздуха	0,070 + 0,0376 = 0,1076	0,175 + 0,0376 = 0,2126
с добавлением 25%	0,134	0,336
полный расход воздуха, требуемый для снабжения шести площадок, $\text{м}^3/\text{с}$	0,804	2,02

6. Находят скорость движения воздуха через открытую дверь, как указано в приложении А. Если найденная скорость не отвечает установленным требованиям, то необходимо увеличить расход воздуха для снабжения рассматриваемых помещений (относится только к избыточному давлению в аварийной ситуации).

При условии, что на одной площадке открыты две двери, получим следующие результаты (используя выводы п.5.А.3):

- 1) расход воздуха, подаваемого в лестничную клетку по каналу снабжения, равен $0,219 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 2) расход воздуха, поступающего в лестничную клетку с других площадок, равен:

$$0,336 - 0,01$$

$$0,01 + 0,03 + (1/6) \cdot 0,06 \cdot 1,61 \quad (6 - 1) = 0,299 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Полный расход воздуха через дверь из лестничной клетки на площадку составляет $0,518 \text{ м}^3/\text{с}$, а с учетом корректирующего коэффициента (коэффициента сопротивления 0,6) он равен $0,311 \text{ м}^3/\text{с}$; скорость движения воздуха через дверь составляет $0,194 \text{ м/с}$. Теперь рассмотрим вторую дверь, т. е. дверь с площадки в прилегающее помещение. Расход воздуха через эту дверь складывается из следующих трех составляющих:

- 1) полного расхода воздуха, поступающего на площадку из лестничной клетки, равного $0,518 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 2) расхода воздуха, подаваемого по каналам снабжения на каждую площадку, равного $0,336 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 3) расхода воздуха из лифтовой шахты наружу, равного:

$$\frac{1}{3} \left[\frac{1,61 \cdot 0,06 \cdot 0,336}{0,01 \cdot 0,03 + (1/6) \cdot 0,06 \cdot 1,61} \right] = 0,193 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Полный расход воздуха через дверь составляет $1,05 \text{ м}^3/\text{с}$, а с учетом корректирующего коэффициента (коэффициента сопротивления 0,6) он равен $0,628 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом скорость движения воздуха через дверь составит $0,392 \text{ м/с}$, что ниже требуемого значения $0,7 \text{ м/с}$, следовательно, необходимо обеспечить дополнительное снабжение воздухом. Расход воздуха, который должен проходить через дверь для получения скорости $0,7 \text{ м/с}$, будет равен: $0,7 \cdot 1,6 = 1,12 \text{ м}^3/\text{с}$. С учетом корректирующего коэффициента получим $1,12/0,6 = 1,867 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расход воздуха, уже имеющегося в распоряжении, составляет $1,05 \text{ м}^3/\text{с}$. Следовательно, для достижения требуемой скорости движения воздуха через дверь и площадки в прилегающее помещение необходимо подать в лестничную клетку дополнительный объем воздуха $0,82 \text{ м}^3/\text{с}$ и для предотвращения нежелательного повышения давления в лестничной клетке при полностью закрытых дверях установить регулирующий клапан.

Для установки такого клапана требуется отверстие площадью

$$A = \frac{0,82}{0,827 \cdot 5^{1/2}} = 0,14 \text{ м}^2.$$

При этом выполняется условие об ограничении избыточного давления в лифтовой шахте 50 Па у закрытой двери между лестничной клеткой и площадкой при одной открытой двери на площадке, так как срабатывает ограничительный клапан.

При давлении 50 Па на клапан площадью $0,14 \text{ м}^2$ передается нагрузка, равная: $50 \text{ Н/м}^2 \cdot 0,14 \text{ м}^2 = 7 \text{ Н}$. Следовательно, конструкция клапана должна быть рассчитана так, чтобы он оставался закрытым, пока нагрузка на него не превышает 7 Н .

7. Обеспечивают подачу воздуха (в количестве, рассчитанном в пп. 5 и 6) по системе каналов в каждое помещение, где создается избыточное давление. Размещение каналов должно быть согласовано с архитектором и компетентными лицами.

На каждой площадке предусматривают одно отверстие с решеткой, подающее воздух: в лестничной клетке таких отверстий должно быть два, а лучше три. Систему каналов нужно располагать в здании таким образом, чтобы не требовалась установка противопожарного клапана.

8. Назначают мощность вентиляторов и размеры каналов; этот расчет с учетом ряда дополнительных требований должен выполнять компетентный инженер. Положение вентиляционных решеток следует согласовать с архитектором и специалистами по установке оборудования.

Аварийная ситуация (50 Па)

Требуемая подача воздуха в лестничную клетку	1,04 $\text{м}^3/\text{с}$
То же, шести площадок	2,02 »
Общий расход воздуха	3,06 »

Нормальные условия (8 Па)

Требуемое снабжение воздухом лестничной клетки	0,09 $\text{м}^3/\text{с}$
То же, шести площадок	0,81 »
Общий расход воздуха	0,90 »

На этой стадии проектирования необходимо решить, сколько вентиляторов (один или два) будет применяться для снабжения воздухом лестничной клетки и площадок, и сформулировать требования по надежности механического оборудования и системы электроснабжения. Если при двухступенчатой системе избыточного давления на каждой ступени применяется независимое оборудование, то подача воздуха может осуществляться в разных точках для каждой ступени, однако в аварийной ситуации предпочтительно подавать воздух на уровне земли.

9. Рассчитывают расход сжатого воздуха, который должен быть удален из здания, и выбирают соответствующий способ вентилирования. В данном примере удаление воздуха из помещения должно быть достаточным при скорости движения воздуха через дверь, равной $0,7 \text{ м/с}$, т. е. $Q_N = 0,7 \cdot 1,6 = 1,12 \text{ м}^3/\text{с}$.

Размеры вентиляционных отверстий и их расположение будут зависеть от того, какой из четырех способов вентилирования выбран, однако следует учитывать возможность возникновения неблагоприятных ветровых условий.

10. Задают режим работы системы и, если необходимо, устанавливают положение датчиков дыма. Эти вопросы согласовывают в начальной стадии проектирования с органами строительного и пожарного надзора. Вероятно, минимальным является требование по установке датчика дыма на двери площадки со стороны помещения с избыточным давлением на каждом этаже.

11. Передают архитектору сведения о заложенных в расчет площадях утечки воздуха, с тем чтобы обеспечить наличие этих площадей после завершения строительства здания. Значительные отклонения от требуемой площади утечки воздуха могут быть выявлены при проведении экспериментов, однако желательно такую проверку провести заранее.

12. Проводят измерения для обеспечения удовлетворительной работы оборудования в период эксплуатации здания.

В новых нормах приведены соответствующие требования к таким измерениям и описана их техника. Эти методы измерений должны применяться при испытаниях смонтированного оборудования.

Предисловие к русскому изданию	Стр. 5
Предисловие	5
Введение	6
1. Количество и свойства дыма	8
1.1. Общие положения	8
1.2. Механизм выделения дыма	8
1.3. Определение объема дыма, выделяющегося при пожаре	9
1.4. Ограничение размеров пожара для проведения проектных расчетов	11
1.5. Количество выделившегося дыма	12
1.6. Свойства дыма	14
1.7. Плотность дыма	15
1.8. Токсичность дыма	20
Список литературы	23
2. Распространение дыма и противодымная защита	24
2.1. Общие положения	24
2.2. Пожар в аэропорту Орли	24
2.3. Пожар в здании «Ваи-Нью-Йорк-Плаза» в Нью-Йорке	26
2.4. Пожар в гостинице «Тае Ион Как»	28
2.5. Движение дыма	31
2.6. Давление воздуха при пожаре в здании	32
2.7. Управление дымовыми потоками	34
Список литературы	36
3. Удаление дыма из помещений, где происходит пожар	36
3.1. Общие положения	36
3.2. Факторы, учитываемые при проектировании систем вентиляционных отверстий в крышах	37
3.3. Номограммы	46
3.4. Другие факторы, влияющие на удаление дыма	56
Список литературы	64
4. Противодымная защита путей эвакуации без полной конструктивной защиты (закрытые магазины)	64
4.1. Пожар в торговом центре Вальфрана и Мандера	65
4.2. Проектирование путей эвакуации	67
4.3. Проектирование элементов фасадов магазинов и закрытых пешеходных переходов	71
Список литературы	96
5. Использование системы подпора воздуха для противодымной защиты путей эвакуации	98
5.1. Общие вопросы	98
5.2. Естественная вентиляция	98
5.3. Механическая вентиляция	100
5.4. Опыт применения и исследования эффективности системы подпора воздуха	102
5.5. Требования к системе подпора воздуха	121
Список литературы	146
Приложение А. Метод оценки расхода воздуха, поступающего через открытую дверь	148
Приложение Б. Пример проектирования системы подпора воздуха	150

