

**ПРОТИВОДЫМНАЯ ЗАЩИТА ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ
ИЗ ПЛАТФОРМЕННЫХ ЗАЛОВ СТАНЦИЙ
МЕТРОПОЛИТЕНА. ПРАВИЛА РАСЧЕТА**

**СУПРАДЫМНАЯ АБАРОНА ШЛЯХОЎ ЭВАКУАЦЫІ
З ПЛАТФОРМЕННЫХ ЗАЛАЎ СТАНЦЫЙ
МЕТРАПАЛІТЭНУ. ПРАВІЛА РАЗЛІКУ**

Издание официальное



Ключевые слова: противодымная защита, система тоннельной вентиляции, пожар, метрополитен, станция, перегонный тоннель

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН учреждением «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 5 апреля 2010 г. № 18

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	1
4 Основные обозначения и единицы измерения	2
5 Общие положения	4
6 Порядок расчета ПДЗ путей эвакуации из платформенных залов станций метрополитена	6
6.1 Определение критических параметров вентиляции тоннелей	6
6.2 Правила расчета тепловых факторов пожара	8
6.3 Правила расчета устойчивости воздушно-дымовых потоков в эскалаторном тоннеле	11
6.4 Правила расчета аэродинамических сопротивлений	12
6.5 Определение параметров непосредственного дымоудаления из объема станций метрополитена	14
6.6 Правила расчета расхода дыма, удаляемого на станции при пожаре подвижного состава....	15
6.7 Определение расхода дыма, выделяемого при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена	16
Приложение А (справочное) Примеры расчетов	18
Приложение Б (рекомендуемое) Специальные требования к дымозащите путей эвакуации из платформенных залов станций метрополитена	34
Приложение В (рекомендуемое) Схемы работы системы противодымной защиты станций	35
Библиография	37

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ**ПРОТИВОДЫМНАЯ ЗАЩИТА ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ПЛАТФОРМЕННЫХ ЗАЛОВ
СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА. ПРАВИЛА РАСЧЕТА****СУПРАЦЬДЫМНАЯ АБАРОНА ШЛЯХОЎ ЭВАКУАЦЫІ З ПЛАТФОРМЕННЫХ ЗАЛАЎ
СТАНЦЫЎ МЕТРАПАЛІТЭНУ. ПРАВІЛА РАЗЛІКУ**

Smoke protection of ways of evacuation from platform halls of subway stations.
The rules of calculation

Дата введения 2010-09-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) устанавливает порядок расчета системы противодымной защиты путей эвакуации пассажиров из платформенных залов станций метрополитена.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации¹ (далее — ТНПА):

СТБ 11.0.02–95 Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность. Общие термины и определения

СТБ 11.0.03–95 Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения

ГОСТ 12.1.004–91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ТКП 45.3.03–115–2008 Метрополитены. Нормы проектирования

Примечание — При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по Перечню ТНПА по строительству, действующих на территории Республики Беларусь, и каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 вентиляционный канал: По ТКП 45.3.03–115–2008.

3.2 вентиляционная установка (далее — ВУ): По ТКП 45.3.03–115–2008.

3.3 восходящее проветривание: Относится к направлению движения воздуха вверх по тоннельному полуперегону, имеющему уклон.

3.4 депрессия [1, 2]: Разность полных давлений в начале и конце участка вентиляционной сети, обеспечивающая движение воздушного потока и затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления исследуемого участка.

3.5 критическая депрессия [1, 2]: Депрессия, создаваемая вентилятором в момент прекращения поступления в тоннельный полуперегон воздуха из-за противодействия тепловой депрессии.

¹ СНБ имеют статус технического нормативного правового акта на переходный период до их замены техническими нормативными правовыми актами, предусмотренными Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

3.6 необходимое время эвакуации: По СТБ 11.0.03–95.

3.7 нисходящее проветривание: Относится к направлению движения воздуха вниз по тоннельному полуперегону, имеющему уклон.

3.8 обделка: Постоянная конструкция, предназначенная для закрепления внутренней поверхности выработки и придания ей правильного, соответствующего проекту, очертания.

3.9 опасный фактор пожара: По СТБ 11.0.02–95.

3.10 продольное удаление дыма: Удаление дыма в продольном направлении.

3.11 противодымная защита (далее — ПДЗ): По СТБ 11.0.03–95.

3.12 станция: По ТКП 45.3.03–115–2008.

3.13 тепловая депрессия [1, 2]: Дополнительная депрессия, возникающая за счет изменения (уменьшения) удельного веса воздуха за очагом пожара вследствие его нагрева.

3.14 установка тоннельной вентиляции: По ТКП 45.3.03–115–2008.

4 Основные обозначения и единицы измерения

$h_{кр\tau}$ — критическая депрессия тоннеля, в пределах которого произошел пожар, Па;

h_{τ} — тепловая депрессия пожара, Па;

$v_{ав}$ — скорость воздушного потока после возникновения пожара, м/с;

$h_{кр}^a$ и h_{τ}^a — соответственно критическая и тепловая депрессии пожара в эскалаторном тоннеле, Па;

v_{τ}^a — скорость вентиляционного потока в эскалаторном тоннеле, м/с;

$v_{кр}^a$ — критическая скорость, обеспечивающая незадымляемость эскалаторного тоннеля, м/с;

Q — объемный расход, м³/с;

$Q_{уд}$ — объемный расход дыма, удаляемого при пожаре, м³/с;

k_c — коэффициент, учитывающий влияние совместной (при аварийном режиме работы системы тоннельной вентиляции) работы вентиляционных установок на критические параметры тоннеля;

k_n — коэффициент, учитывающий изменение распределения воздуха в тоннелях перегонов после остановки вентиляционной струи в аварийном тоннеле;

r — аэродинамическое сопротивление, Н·с²/м⁸;

G — массовый расход, кг/с;

$G_{уд}$ — массовый расход дыма, подлежащий удалению, кг/с;

G_n — массовый расход дыма, выделяемый при пожаре, кг/с;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

τ — время, с;

P — периметр очага пожара, м;

K_{τ} — коэффициент нестационарного теплообмена, Вт/(м²·°С);

$c_{p\tau}$ — изобарная теплоемкость продуктов горения, Дж/(кг·°С);

$c_{об}$ — теплоемкость обделки тоннеля, Дж/(кг·°С);

c_p^a — изобарная теплоемкость воздуха до пожара, Дж/(кг·°С);

$T_{оп\tau}$ — температура продуктов горения в очаге пожара, °С;

T_w — температура обделки тоннеля, °С;

x — продольная координата, м;

$T_{пг\tau,x}$ — температура струи продуктов горения от времени в некотором сечении тоннеля, °С;

d — диаметр тоннеля, м;

$D_{экр}$ — эквивалентный (гидравлический) диаметр тоннеля, м;

λ — коэффициент теплопроводности обделки, Вт/(м·°С);

$a = \frac{\lambda}{c_{об} \cdot \rho_{об}}$ — коэффициент температуропроводности обделки, м²/с;

$\rho_{об}$ — плотность обделки, кг/м³;

α_{τ} — коэффициент теплоотдачи продуктов горения к стенкам тоннеля, Вт/(м²·°C);

ρ_{τ} — плотность среды, кг/м³;

u_{τ} — скорость воздушного потока, м/с;

S_{τ} — площадь поперечного сечения тоннеля, м²;

P — периметр тоннеля, м;

T_{cp} — средняя по длине тоннеля температура газового потока, °C;

k_{ts} — коэффициент теплового сопротивления;

$T_{оп}^{max}$ — максимальная температура газового потока в очаге пожара, °C;

T_k^{max} — максимальная температура газового потока на расстоянии L м от очага пожара, °C;

y — разность высотных отметок начала и конца задымленного участка тоннеля, м;

$\sigma = \frac{G_{пр}}{G_{см}}$ — относительный массовый расход продуктов горения;

$G_{пр}$ — массовый расход продуктов горения, кг/с;

$G_{см}$ — массовый расход смеси продуктов горения и воздуха, кг/с;

$T_{см, \tau, x}$ — температура смеси продуктов горения и воздуха на входе в вентиляционную камеру, °C;

$H_{ст}$ — глубина заложения станции, м;

L_n — длина поезда, м;

P_n — периметр поперечного сечения вагона, м;

S_n — площадь поперечного сечения вагона, м²;

$F_э$ — площадь поперечного сечения эскалаторного тоннеля в сопряжении с залом станции, м²;

L_{τ} — длина перегонного тоннеля, м;

ρ_0 — плотность холодного (окружающего) воздуха, кг/м³;

T_0 — температура холодного (окружающего) воздуха, K;

$Q_{пож}$ — скорость тепловыделения, Вт;

z_n — граница незадымляемой зоны, отсчитываемая от пола тоннеля (платформы), м;

χ — доля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту от выделившейся в очаге пожара;

η — коэффициент полноты сгорания;

$\psi^{ср.уд.}$ — средняя удельная скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/(м²·с);

$Q_{н}^{ср}$ — средняя теплота сгорания пожарной нагрузки, Дж/кг;

F_r — площадь пожара, м²;

S_b — площадь пола вагона подвижного состава, м²;

m_i — масса i -го материала вагона, кг;

$\psi_i^{ср.уд.}$ — удельная скорость выгорания i -го материала вагона, кг/(м²·с);

$Q_{нi}^{ср}$ — теплота сгорания i -го материала вагона, Дж/кг;

γ_d — удельный вес дыма, Н/м³;

ρ_d — плотность дыма, кг/м³;

b — ширина вагона, м.

5 Общие положения

5.1 ПДЗ путей эвакуации из платформенных залов станций метрополитена должна обеспечивать безопасную эвакуацию пассажиров и персонала, их защиту от дыма в период выхода из поезда (поездов) и движения по путям эвакуации до выхода наружу, что достигается:

созданием устойчивого встречного потока свежего воздуха навстречу эвакуирующимся людям (при эвакуации людей в одном направлении от очага пожара);

снижением скорости воздуха в тоннеле до 0,5 м/с при эвакуации людей в двух направлениях от очага пожара;

обеспечением требуемого теплового режима работы вентиляторов при их обтекании потоком удаляемых высокотемпературных продуктов горения;

превышением времени блокирования продуктами горения путей эвакуации расчетного времени эвакуации пассажиров.

5.2 Сохранение устойчивости нисходящего движения воздушно-дымовых потоков при пожаре обеспечивается при выполнении условия [3]:

$$h_{кр} > h_T, \quad (1)$$

где $h_{кр}$ — приложенная к тоннелю депрессия вентиляторов (депрессия вынужденной конвекции), Па;

h_T — тепловая депрессия пожара, Па.

5.3 Для защиты людей от проникновения дыма на пути эвакуации из платформенных залов станций следует предусматривать создание воздушного потока в зоне примыкания эвакуационных путей к платформенным залам станции со скоростью не ниже 1,7 м/с.

Если система тоннельной вентиляции не обеспечивает указанные параметры, то следует дополнительно применять активные и пассивные методы регулирования воздухораспределения на аварийном участке.

5.4 Условие незадымления эскалаторного тоннеля при пожаре подвижного состава на станции метрополитена соблюдается при одновременном выполнении следующих неравенств [4]:

$$h_{кр}^a > h_T^a, \quad (2)$$

$$v_T^a \geq v_{кр}^a, \quad (3)$$

где $h_{кр}^a$ и h_T^a — соответственно критическая и тепловая депрессии пожара в эскалаторном тоннеле, Па;

v_T^a — скорость вентиляционного потока в эскалаторном тоннеле, м/с;

$v_{кр}^a$ — критическая скорость, обеспечивающая незадымляемость эскалаторного тоннеля, м/с.

5.5 В условиях метрополитена погрешность расчетных зависимостей во многом зависит от правильности формирования схем вентиляционных соединений на основе общей схемы тоннелей метрополитена (рисунок 5.1). В связи с этим расчетные зависимости для определения критических параметров тоннелей представлены в общем виде, позволяющем учитывать особенности схем вентиляционных соединений перегонов.

5.6 В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004–91 безопасная эвакуация пассажиров из платформенных залов станций метрополитена может быть обеспечена за счет:

снижения расчетного времени эвакуации пассажиров;

увеличения времени блокирования продуктами горения путей эвакуации.

5.7 Снижение расчетного времени эвакуации обеспечивается:

необходимым количеством, размерами и конструктивным исполнением эвакуационных путей и выходов;

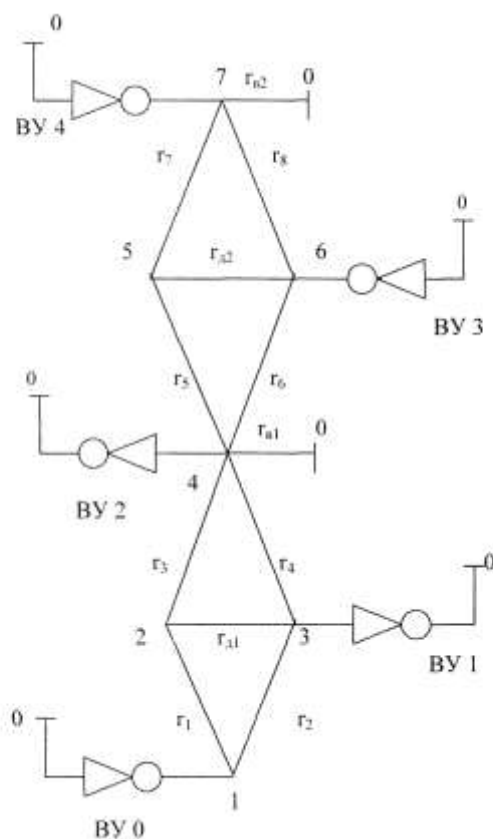
управлением эвакуационными потоками с помощью технических средств (система оповещения).

5.8 Увеличение времени блокирования продуктами горения путей эвакуации обеспечивается:

а) пассивной (конструктивной) ПДЗ;

б) активной ПДЗ путей эвакуации;

в) совокупностью перечисленных в п. а) и б) способов.



0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — узлы соединения отдельных участков метрополитена;

ВУ 0, ВУ 1, ВУ 3, ВУ 4 — вентиляционные установки;

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_{д1}, r_{д2}, r_{в1}, r_{в2}$ — аэродинамические сопротивления участков, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$

Рисунок 5.1 — Схема вентиляционных соединений метрополитена

5.9 Для станций метрополитена увеличение времени блокирования может быть достигнуто:

созданием системы ПДЗ для защиты путей эвакуации от проникновения в них дыма. При продольном удалении дыма из зала станции это может реализовываться либо удалением дыма станционной вентиляционной шахтой, либо установкой вентиляторов подпора в вестибюле;

непосредственным удалением дыма из зала станции с применением конструктивных средств ПДЗ (противодымные завесы для образования резервуаров дыма, выгораживание ведущих наружу лестниц);

своевременным обнаружением пожара в начальной стадии автоматической пожарной сигнализацией.

5.10 При организации непосредственного дымоудаления из зала станции работа вентиляторов дымоудаления не требует сблокирования их с вентиляторами тоннельной вентиляции, однако в данном случае дополнительно требуется применение противодымных преград (перегородок, препятствующих распространению дыма из зала в вестибюли, либо выгораживание лестниц лестничных сходов), которые создают «резервуар дыма», препятствуя поступлению продуктов горения на пути эвакуации.

При удалении дыма непосредственно из-под свода зала станции (из «резервуара дыма») не допускается его распространение в прилегающие к станции тоннели.

5.11 При возникновении возгорания в движущемся в тоннеле поезде с учетом факторов динамики развития пожара, если перегоны метрополитена короткие, а время движения состава между станциями — в пределах 2 минут (наступление критических значений происходит, как правило, позже времени вывода состава на станцию), то рекомендуется выводить состав на платформенный участок ближайшей станции для обеспечения условий эвакуации пассажиров.

6 Порядок расчета ПДЗ путей эвакуации из платформенных залов станций метрополитена

6.1 Определение критических параметров вентиляции тоннелей

6.1.1 В общем случае [5, 6] величина критической депрессии тоннеля определяется на основании расчетной схемы (рисунок 6.1а, б) по следующей формуле:

$$h_{кр} = g \cdot \left(k_c \frac{\sum Q_t}{\sqrt{k_n + 1}} \right)^2 \left[r_b + \frac{r_d}{\left(1 + \sqrt{\frac{r_d + r_i}{r_j}} \right)^2} \right], \quad (4)$$

где $h_{кр}$ — критическая депрессия тоннеля, в пределах которого произошел пожар, Па;

g — ускорение свободного падения, m/c^2 ;

k_c — коэффициент, учитывающий влияние совместной (при аварийном режиме работы системы тоннельной вентиляции) работы ВУ на критические параметры тоннеля;

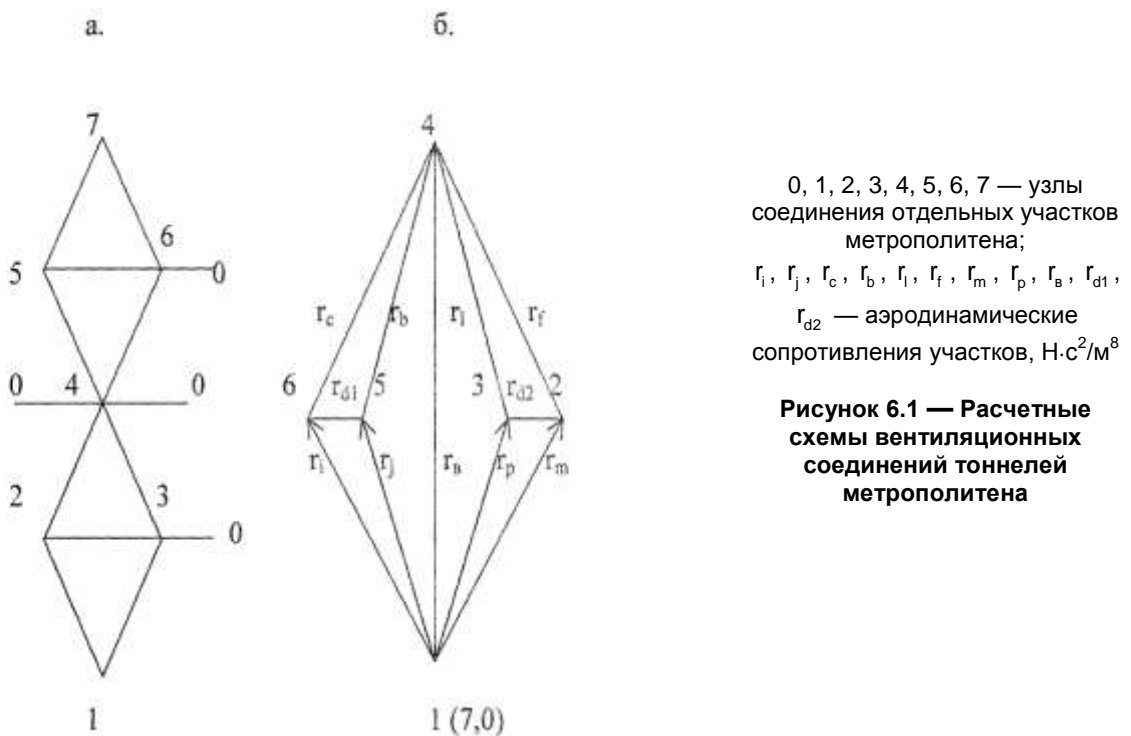
$\sum Q_t$ — суммарный расход воздуха в тоннелях при одиночной работе станционной ВУ (оба вентилятора работают на вытяжку), m^3/c ;

k_n — коэффициент, учитывающий изменение распределения воздуха в тоннелях перегонов после остановки вентиляционного потока в тоннеле с очагом пожара;

r_b — сопротивление тоннеля, параллельного тоннелю с очагом пожара, $H \cdot c^2/m^8$;

r_d — сопротивление перехода между тоннелем с очагом пожара и параллельными тоннелями (в том случае, когда его можно определить), $H \cdot c^2/m^8$;

r_i, r_j — сопротивления тоннелей, связанных с тоннелем, в пределах которого произошел пожар, $H \cdot c^2/m^8$.



6.1.2 Величина коэффициента k_c определяется из соотношения

$$k_c = \frac{Q_{ca}}{Q_c}, \quad (5)$$

где Q_{ca} и Q_c — соответственно расходы воздуха, определенные или измеренные в тоннелях при работе системы тоннельной вентиляции в аварийном режиме и при работе станционной ВУ, $\text{м}^3/\text{с}$.

6.1.3 Величину коэффициента k_n определяет соотношение

$$k_n = r_c + r_{n1} \left(\frac{1}{\sqrt{r_b}} + \frac{1}{\sqrt{r_{n2} + r_{n3}}} \right)^2, \quad (6)$$

где r_c — сопротивление тоннеля, в пределах которого произошел пожар, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$;

r_{n1} — сопротивление параллельного соединения из ветвей r_i и $r_j + r_d$, представляющих собой тоннели и переход, соединяющий их у перегонной шахты (рисунок 6.1б, ветви 1–6 и 1–5–6), $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$;

r_b — сопротивление входов в метрополитен, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$;

r_{n2}, r_{n3} — сопротивления параллельных соединений, составленных из тоннелей перегона, лежащего с другой стороны станции (участок 1–2–4), $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$.

6.1.4 В тех случаях, когда сопротивление ветви–перехода между тоннелями по каким-то причинам не определено или в результате упрощения схемы вентиляционных соединений исключается из расчетной схемы, величина r_d принимается равной нулю. Тогда величины сопротивлений r_c и r_b определяются как эквивалентные. Расчетная формула для пересчета сопротивлений тоннелей в эквивалентные имеет следующий вид:

$$r_{bэ} = \left(\frac{q_c}{q_b} - 1 \right)^2 / r'_n, \quad (7)$$

где $r_{bэ}$ — эквивалентное сопротивление тоннеля, параллельного тоннелю с очагом пожара, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$;

q_c, q_b — расходы воздуха соответственно в тоннеле с пожаром и параллельном ему тоннеле, определенные или измеренные при групповой работе ВУ при моделировании аварийного вентиляционного режима, $\text{м}^3/\text{с}$;

r'_n — сопротивление параллельного соединения тоннеля с очагом пожара и параллельного ему тоннеля, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$.

Эквивалентное сопротивление аварийной ветви (r_{ca}) определяется по формуле, аналогичной (7).

6.1.5 Расчет критических параметров тоннеля — критической депрессии — производится после выполнения нескольких подготовительных этапов, осуществляемых в следующей последовательности:

определяется ближайшая к тоннелю, в котором возник очаг пожара, станционная ВУ (два вентилятора), работающая на вытяжку при пожаре (при этом направление движения воздуха в тоннеле должно совпадать с направлением движения воздуха в этом же тоннеле в режиме дымоудаления);

готовится схема вентиляционных соединений участка метрополитена со станционной вентиляционной установкой;

определяется суммарный расход воздуха в тоннелях перегонов, примыкающих к станции ($\sum Q_i$), и расход воздуха в тоннеле с очагом пожара (Q_c) при одновременной работе двух станционных вентиляторов;

включаются в работу все вентиляторы, формирующие режим дымоудаления;

рассчитывается или измеряется расход воздуха в тоннеле с очагом пожара (Q_{ca}) при работе системы тоннельной вентиляции в режиме дымоудаления.

Места установки вентиляционных установок системы тоннельной вентиляции следует определять в соответствии с ТКП 45.3.03–115–2008.

6.2 Правила расчета тепловых факторов пожара

6.2.1 Зависимость температуры струи продуктов горения от времени в некотором сечении тоннеля $T_{пр \tau, x}$, °С, определяется зависимостью вида [7]:

$$T_{пр \tau, x} = T_w + T_{оп \tau} - T_w \cdot e^{-\frac{K_t \tau \cdot \pi \cdot d}{G \cdot c_p \tau} (x - x_0)}, \quad (8)$$

где τ — время, с;

x — продольная координата, м;

T_w — температура обделки тоннеля (воздушной среды до пожара), °С;

$T_{оп \tau}$ — температура продуктов горения в очаге пожара, °С;

$e = 2,718$ — основание натурального логарифма;

$K_t \tau$ — коэффициент нестационарного теплообмена, Вт/(м²·°С);

$\pi = 3,14$ — число Пи;

d — диаметр тоннеля, м;

G — массовый расход воздуха в тоннеле, кг/с;

$c_p \tau$ — изобарная теплоемкость продуктов горения, Дж/(кг·°С);

x_0 — продольная координата очага пожара в начальный момент времени, м.

6.2.2 Коэффициент нестационарного теплообмена $K_t \tau$ определяется в соответствии с выражением

$$K_t \tau = \frac{\varphi \tau}{0,15625 \cdot d \cdot \sqrt{\pi} \cdot \left(\left(\frac{\varphi \tau}{\lambda} \right)^2 - 1 \right) + \frac{\varphi \tau}{\alpha \tau}}, \quad (9)$$

$$\text{где } \varphi \tau = \lambda \cdot \sqrt{1 + 3,2 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot \tau}{(0,5 \cdot d)^2}}}; \quad (10)$$

λ — коэффициент теплопроводности обделок тоннеля, Вт/(м·°С);

$a = \frac{\lambda}{c_{об} \cdot \rho_{об}}$ — коэффициент температуропроводности, м²/с;

$c_{об}$ — теплоемкость обделки тоннеля, Дж/(кг·°С);

$\rho_{об}$ — плотность обделки, кг/м³;

$\alpha \tau$ — коэффициент теплоотдачи к стенкам тоннеля, Вт/(м²·°С);

$$\alpha \tau = \frac{2,6 \cdot \varepsilon \cdot \rho \tau \cdot u \tau^{0,8}}{D_{эКВ}^{0,2}}; \quad (11)$$

ε — коэффициент шероховатости обделок тоннеля;

$\rho \tau$ — плотность среды, кг/м³;

$u \tau$ — скорость вентиляционной струи, м/с;

$D_{эКВ} = \frac{4 \cdot S_{\tau}}{P}$ — эквивалентный (гидравлический) диаметр тоннеля, м;

S_{τ} — площадь поперечного сечения тоннеля, м²;

P — периметр тоннеля, м.

6.2.3 Выражение (8) содержит зависимость температуры продуктов горения в очаге пожара от времени, °С, которую для условий тоннеля можно определять согласно [7] как

$$T_{оп \tau} = A + B_1 \cdot \tau + B_2 \cdot \tau^2 + B_3 \cdot \tau^3 + B_4 \cdot \tau^4 + B_5 \cdot \tau^5 + B_6 \cdot \tau^6 + B_7 \cdot \tau^7 + B_8 \cdot \tau^8 + B_9 \cdot \tau^9, \quad (12)$$

где A, B_i ($i = 1 \dots 9$) — полученные регрессионным анализом коэффициенты полинома, принимаются согласно таблице 6.1, а в формуле (8) $x_0 = 0$.

Таблица 6.1 — Значения коэффициентов в зависимости (12)

Количество горящих вагонов	Обозначение коэффициента, размерность	Значение
При горении одного вагона ($0 \leq \tau \leq 3600$ с)	$A, ^\circ\text{C}$	40,98996
	$B_1, ^\circ\text{C}/\text{c}$	0,01148
	$B_2, ^\circ\text{C}/\text{c}^2$	$6,13689 \cdot 10^{-4}$
	$B_3, ^\circ\text{C}/\text{c}^3$	$-4,09709 \cdot 10^{-7}$
	$B_4, ^\circ\text{C}/\text{c}^4$	$7,32691 \cdot 10^{-11}$
	$B_5, ^\circ\text{C}/\text{c}^5$	$1,16619 \cdot 10^{-15}$
	$B_6, ^\circ\text{C}/\text{c}^6$	$-8,81471 \cdot 10^{-19}$
	$B_7, ^\circ\text{C}/\text{c}^7$	0
	$B_8, ^\circ\text{C}/\text{c}^8$	0
$B_9, ^\circ\text{C}/\text{c}^9$	0	
При горении второго вагона ($0 \leq \tau \leq 4500$ с)	$A, ^\circ\text{C}$	14,04554
	$B_1, ^\circ\text{C}/\text{c}$	0,36831
	$B_2, ^\circ\text{C}/\text{c}^2$	$-4,79632 \cdot 10^{-4}$
	$B_3, ^\circ\text{C}/\text{c}^3$	$4,95566 \cdot 10^{-7}$
	$B_4, ^\circ\text{C}/\text{c}^4$	$-2,01394 \cdot 10^{-10}$
	$B_5, ^\circ\text{C}/\text{c}^5$	$3,27887 \cdot 10^{-14}$
	$B_6, ^\circ\text{C}/\text{c}^6$	$-1,8065 \cdot 10^{-18}$
	$B_7, ^\circ\text{C}/\text{c}^7$	0
	$B_8, ^\circ\text{C}/\text{c}^8$	0
$B_9, ^\circ\text{C}/\text{c}^9$	0	
При горении третьего вагона ($0 \leq \tau \leq 5250$ с)	$A, ^\circ\text{C}$	36,28518
	$B_1, ^\circ\text{C}/\text{c}$	-0,16195
	$B_2, ^\circ\text{C}/\text{c}^2$	0,00113
	$B_3, ^\circ\text{C}/\text{c}^3$	$-1,58182 \cdot 10^{-6}$
	$B_4, ^\circ\text{C}/\text{c}^4$	$1,05897 \cdot 10^{-9}$
	$B_5, ^\circ\text{C}/\text{c}^5$	$-3,73393 \cdot 10^{-13}$
	$B_6, ^\circ\text{C}/\text{c}^6$	$7,26730 \cdot 10^{-17}$
	$B_7, ^\circ\text{C}/\text{c}^7$	$-7,78049 \cdot 10^{-21}$
	$B_8, ^\circ\text{C}/\text{c}^8$	$4,21667 \cdot 10^{-25}$
$B_9, ^\circ\text{C}/\text{c}^9$	$-8,72217 \cdot 10^{-30}$	
При горении четвертого вагона ($0 \leq \tau \leq 7200$ с)	$A, ^\circ\text{C}$	19,48426
	$B_1, ^\circ\text{C}/\text{c}$	0,20464
	$B_2, ^\circ\text{C}/\text{c}^2$	$-5,63441 \cdot 10^{-4}$
	$B_3, ^\circ\text{C}/\text{c}^3$	$1,0070 \cdot 10^{-6}$
	$B_4, ^\circ\text{C}/\text{c}^4$	$-8,27653 \cdot 10^{-10}$
	$B_5, ^\circ\text{C}/\text{c}^5$	$3,62486 \cdot 10^{-13}$
	$B_6, ^\circ\text{C}/\text{c}^6$	$-8,8999 \cdot 10^{-17}$
	$B_7, ^\circ\text{C}/\text{c}^7$	$1,22538 \cdot 10^{-20}$
	$B_8, ^\circ\text{C}/\text{c}^8$	$-8,83733 \cdot 10^{-25}$
$B_9, ^\circ\text{C}/\text{c}^9$	$2,60039 \cdot 10^{-29}$	
При горении пятого вагона ($0 \leq \tau \leq 7400$ с)	$A, ^\circ\text{C}$	35,63816
	$B_1, ^\circ\text{C}/\text{c}$	-0,18796
	$B_2, ^\circ\text{C}/\text{c}^2$	$8,25082 \cdot 10^{-4}$
	$B_3, ^\circ\text{C}/\text{c}^3$	$-1,09324 \cdot 10^{-6}$
	$B_4, ^\circ\text{C}/\text{c}^4$	$7,71502 \cdot 10^{-10}$
	$B_5, ^\circ\text{C}/\text{c}^5$	$-3,15217 \cdot 10^{-13}$
	$B_6, ^\circ\text{C}/\text{c}^6$	$7,67533 \cdot 10^{-17}$
	$B_7, ^\circ\text{C}/\text{c}^7$	$-1,09067 \cdot 10^{-20}$
	$B_8, ^\circ\text{C}/\text{c}^8$	$8,30140 \cdot 10^{-25}$
$B_9, ^\circ\text{C}/\text{c}^9$	$-2,60669 \cdot 10^{-29}$	

ТКП 247-2010

При необходимости более точного учета температуры продуктов горения в очаге пожара от времени $T_{\text{он}} \tau$, °С, на интервале от 0 до 3600 с ее следует определять в соответствии с формулой

$$T_{\text{он}} \tau = A_0 + A_1 \exp\left(-\frac{\tau}{b_1}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{\tau}{b_2}\right) + A_3 \exp\left(-\frac{\tau}{b_3}\right), \quad (13)$$

где $A_0 = 679,80178$ °С, $A_1 = -68,25009$ °С, $A_2 = -153,13198$ °С, $A_3 = -438,39524$ °С, $b_1 = 33,52362$ с, $b_2 = 448,32007$ с, $b_3 = 1931,3724$ с. При этом формула (8) справедлива при $x \geq x_0$, где $x_0 = v_1 \cdot \tau$, $v_1 = 0,017$ м/с, $\tau = 0 \dots \frac{x}{v_1}$.

6.2.4 При расчетах по формулам (8) и (9) следует учитывать зависимости плотности среды $\rho \tau$, скорости движения вентиляционного потока $u \tau$ и теплоемкости $c_p \tau$ от времени. Допускается аппроксимировать указанные функции в предположении, что теплофизические свойства продуктов горения идентичны свойствам нагретого до той же температуры воздуха. В этом случае указанные зависимости представляются в виде

$$\rho \tau = \frac{353}{273 + T_{\text{он}} \tau}; \quad (14)$$

$$u \tau = \frac{G}{S \cdot \rho \tau}; \quad (15)$$

$$c_p \tau = -3,9 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\text{он}} \tau^3 + 5,32 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{он}} \tau^2 + 0,0044 \cdot T_{\text{он}} \tau + 1006. \quad (16)$$

В формуле (16) изобарическая теплоемкость $c_p \tau$ аппроксимирована в интервале от 0 до 800 °С.

6.2.5 Средняя по длине тоннеля температура воздушно-дымового потока $T_{\text{сп}}$, °С, и коэффициент теплового сопротивления k_{ts} вычисляются в зависимости от полученных по формулам (8)–(16) результатов:

$$T_{\text{сп}} = \frac{T_{\text{он}}^{\text{max}} - T_{\text{k}}^{\text{max}}}{2}; \quad (17)$$

$$k_{\text{ts}} = \frac{T_{\text{сп}} + 273}{T_{\text{w}} + 273}; \quad (18)$$

где $T_{\text{он}}^{\text{max}}$ — максимальное значение функции $T_{\text{пр}} \tau, 0$ (максимальная температура в очаге пожара), °С;

$T_{\text{k}}^{\text{max}}$ — максимальное значение функции $T_{\text{пр}} \tau, x$ (максимальная температура при расстоянии x от очага пожара), °С.

6.2.6 Тепловая депрессия пожара определяется из выражения

$$h_{\text{т}} = 1,25 \cdot y \cdot g \cdot \left(1 - \frac{1}{k_{\text{ts}}}\right), \quad (19)$$

где y — разность высотных отметок начала и конца задымленного участка тоннеля, м.

6.2.7 Скорость вентиляционной струи после возникновения пожара определяет соотношение

$$v_{\text{ав}} = \text{sign}(\Delta h) \frac{1}{S} \sqrt{\frac{|\Delta h|}{k_{\text{ts}} \cdot r_{\text{с}} + r_{\text{но}}}}, \quad (20)$$

где $\text{sign}(\Delta h) = \begin{cases} +1, & \text{если } \Delta h \geq 0 \\ -1, & \text{если } \Delta h < 0 \end{cases}$ — знак Δh ;

$\Delta h = h_{\text{кр}} \pm h_{\text{т}}$ — величина критической депрессии тоннеля после возникновения пожара, Па; знак «+» имеет место при восходящем проветривании, «-» — при нисходящем.

В формуле (20) положительный результат означает, что скорость вентиляционного потока после возникновения пожара совпадает по направлению со скоростью движения воздуха до аварии. При отрицательном результате — вентиляционный поток меняет направление на противоположное.

6.2.8 Согласно [8] в условиях обтекания продуктами горения вытяжных перегонных вентиляционных установок основными параметрами, влияющими на температуру смеси продуктов горения и свежего воздуха, подходящей к вентилятору, являются температура и дебет продуктов горения, идущих от горящего поезда, а также свежего воздуха, поступающего из незадымленных тоннелей. Поэтому при расчетах температуры смеси продуктов горения и воздуха на входе в вентиляционную камеру следует руководствоваться соотношением

$$T_{см} \tau, X = \sigma \cdot T_{гр} \tau, X + \frac{1-\sigma}{c_p \tau} \cdot c_p^B \cdot T_w, \quad (21)$$

где $\sigma = \frac{G_{гр}}{G_{см}}$ — относительный массовый расход продуктов горения, допускается принимать равным

$$\sigma = 0,35;$$

$G_{гр}$ — массовый расход продуктов горения, кг/с;

$G_{см}$ — массовый расход смеси продуктов горения и воздуха, кг/с;

c_p^B — изобарная теплоемкость воздуха до пожара, Дж/(кг·°C).

Зависимость (21) определяет время достижения критических значений температур, превышающих нормативные показатели температурных условий эксплуатации отдельных узлов вентиляционного оборудования, и может быть использована для расчета времени безотказной работы вентиляционных установок в тоннелях метрополитена.

6.2.9 В расчетах температуры от очага пожара на станции следует использовать рекомендации п. 6.2.1, 6.2.2, при этом подразумевая, что в качестве тоннеля используется воздуховод, осуществляющий дымоудаление, а температура в очаге пожара $T_{оп} \tau$ трактуется как температура в сечении конвективной колонки $T_{kk} \tau$, °C, и определяется:

$$T_{оп} \tau = T_{kk}(\tau) = \frac{(1-\chi) \cdot Q_{пож} \cdot 10^6}{c_p^B \cdot G_{уд}} + T_0 - 273, \quad (22)$$

где $Q_{пож}$ — скорость тепловыделения (тепловая мощность пожара), МВт, определяется в п. 6.6, в формуле (8) $x_0 = 0$.

6.2.10 Температура смеси продуктов горения и воздуха на входе в станционные вентиляционные установки определяется согласно зависимости (21) с учетом принятых допущений в п. 6.2.9, при этом относительный массовый расход продуктов горения σ определяется как

$$\sigma = \frac{Q_{д} \tau \cdot \rho \tau}{(Q_{д} \tau - Q_{в} \tau) \cdot \rho \tau + G_{э1} + G_{э2}}, \quad (23)$$

где $Q_{д} \tau$ — объемный расход дыма при пожаре, м³/с;

$\rho \tau$ — плотность продуктов горения, кг/м³;

$Q_{в} \tau$ — объемный расход воздуха на горение, м³/с;

$G_{э1}$, $G_{э2}$ — соответственно массовые расходы воздуха через 1 и 2-й эскалаторы, кг/с.

6.3 Правила расчета устойчивости воздушно-дымовых потоков в эскалаторном тоннеле

6.3.1 Величина тепловой депрессии пожара $h_T^o \tau$, Па, определяется из следующего соотношения:

$$h_T^o \tau = 39,66 + 4,66 \cdot H_{ст} \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{1,26} \cdot e^{-5 \cdot 10^{-4} \cdot \tau}, \quad (24)$$

где $H_{ст}$ — глубина заложения станции, м;

τ — время развития пожара (расчетное время эвакуации пассажиров), с.

6.3.2 Производим расчет величины депрессии в эскалаторном тоннеле при отсутствии пожара по формуле

$$h^a = r_s Q^{a2}, \quad (25)$$

где $r_s = r_{вх} + r'_s \frac{H_{ст}}{50} + r_в$ — сопротивление эскалатора, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$;

$r_{вх}$ — сопротивление сопряжений эскалаторного тоннеля с платформенным залом станции и вестибюлем, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$;

r'_s — сопротивление 100-метрового участка эскалаторного тоннеля, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$;

$r_в$ — сопротивление вестибюля, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$;

Q^a — расход в эскалаторном тоннеле при отсутствии тепловой депрессии пожара, $\text{м}^3/\text{с}$.

6.3.3 Влияние изменения плотности газовой среды на работу вентиляционного оборудования учитывается введением в правую часть неравенства (1) коэффициента запаса $k_{зап} = 2$ согласно [7]:

$$h_{кр}^a > k_{зап} h_T^a \tau, \quad (26)$$

где $h_{кр}^a$ — критическая депрессия эскалаторного тоннеля, Па.

6.3.4 Определяются варианты ПДЗ, создающие критическую депрессию в эскалаторном тоннеле, которая превышает найденную по формуле (26).

6.3.5 Расход воздуха $Q_{Тэ}$, $\text{м}^3/\text{с}$, в эскалаторном тоннеле определяется по формуле

$$Q_{Тэ} = \frac{\sqrt{\left(\frac{h_{кр}^a - h^a}{Q^a}\right)^2 + 4 \cdot r_s \cdot h_{кр}^a - h_T^a} - \frac{h_{кр}^a - h^a}{Q^a}}{2 \cdot r_s}. \quad (27)$$

6.3.6 Скорость движения воздушного потока вычисляется из соотношения

$$v_T^a = \frac{Q_{Тэ}}{F_s}, \quad (28)$$

где F_s — сечение эскалаторного тоннеля в сопряжении с залом станции, м^2 .

6.3.7 Проверка выбранного варианта организации вентиляции по скорости осуществляется в соответствии с неравенством (3) и на основании данных таблицы 6.2 (согласно [4]).

Таблица 6.2 — Зависимость скорости воздушного потока для создания условий незадымляемости эскалаторного тоннеля от типа станции

Тип станции	Значение скорости воздушного потока, обеспечивающей незадымляемость эскалаторного тоннеля, $v_{кр}^a$, м/с
Односводчатая	1,8
Колонная (пилонная)	1,75
Мелкого заложения	1,7
Закрытого типа	1,6

Полученные результаты позволяют определить условия устойчивости воздушно-дымового потока при пожаре в эскалаторном тоннеле.

6.4 Правила расчета аэродинамических сопротивлений

6.4.1 Аэродинамическое сопротивление перегонного тоннеля r_T , $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, определяет согласно [4] выражение

$$r_T = r_{ст} + r_{nm} \frac{L_T}{100} + r_n, \quad (29)$$

где $r_{ст}$ — сопротивление сопряжения перегонного тоннеля со станцией, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, принимается в соответствии с таблицей 6.3;

r'_{nm} — сопротивление 100-метрового участка перегонного тоннеля, $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$, принимается в соответствии с таблицей 6.3;

L_T — длина перегонного тоннеля, м;

r_n — аэродинамическое сопротивление остановленного в тоннеле поезда, $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$, находится из соотношения (30).

Таблица 6.3 — Справочные данные по аэродинамическим сопротивлениям [4]

Характеристика элемента вентиляционной сети	Аэродинамическое сопротивление, $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$
Перегонный тоннель (100-метровый участок):	
диаметр 5,6 м, обделка из чугунных тубингов	0,0011
диаметр 5,1 м, обделка из бетонных тубингов	0,0017
прямоугольное сечение, сборная обделка	0,0022
Сопряжение перегонного тоннеля:	
со станцией пилонного и колонного типа	0,0139
со станцией закрытого типа при открытых дверях	0,0930
со станцией закрытого типа при закрытых дверях	0,149
Сопряжение вестибюля с поверхностью:	
при трех открытых дверях	0,044
при закрытых дверях	0,241

6.4.2 Аэродинамическое сопротивление остановленного в тоннеле поезда r_n , $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$, определяется из соотношения

$$r_n = r_{сж}^M + \chi_n \frac{L_n \cdot P_B}{S_{пт} - S_{пв}} + r_{вр}^M, \quad (30)$$

где $r_{сж}^M$ — местное сопротивление внезапного сжатия струи воздуха, $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$;

$\chi_n = 0,005 \text{ Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления подвижного состава;

L_n — длина поезда, м;

P_B — периметр поперечного сечения вагона, м;

$S_{пт}$ — площадь поперечного сечения тоннеля, м^2 ;

$S_{пв}$ — площадь поперечного сечения вагона, м^2 ;

$r_{вр}^M$ — местное сопротивление внезапного расширения струи воздуха, $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$.

6.4.3 При наличии в тоннеле участков с различными типами обделки определяются их сопротивления и находится суммарное значение. При определении аэродинамических сопротивлений перегонных тоннелей предполагается нахождение в них одного поезда.

6.4.4 Для определения аэродинамического сопротивления перегонных вентиляционных шахт $r_{вш}$, $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^{-6}$, используется зависимость

$$r_{вш} = \alpha_{ств} \cdot L_{ств} \frac{P_{ств}}{S_{ств}^3} + \xi_{ств} \frac{\rho}{2 \cdot S_{ств}^2} + \alpha_{вт} \cdot L_{вт} \frac{P_{вт}}{S_{вт}^3} + \xi_{вт} \frac{\rho}{2 \cdot S_{вт}^2}, \quad (31)$$

где $\alpha_{ств}$, $\alpha_{вт}$ — коэффициенты соответственно аэродинамического сопротивления ствола шахты и вентиляционного тоннеля (при его наличии);

$L_{ств}$, $L_{вт}$ — длины соответственно ствола шахты и вентиляционного тоннеля, м;

$S_{ств}$, $S_{вт}$ — площади поперечного сечения ствола шахты и вентиляционного тоннеля, м^2 ;

$P_{ств}$, $P_{вт}$ — периметры соответственно ствола шахты и вентиляционного тоннеля, м;

$\xi_{ств}$, $\xi_{вт}$ — коэффициенты местного сопротивления для шахтного ствола и вентиляционного тоннеля (венткамеры), принимаемые одинаковыми для всех вентиляционных шахт и равными соответственно 16 и 10;

$\rho = 1,21 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха.

Аэродинамические сопротивления вентиляционных агрегатов принимаются в соответствии с их аэродинамическими характеристиками.

6.4.5 Формула для определения местных аэродинамических сопротивлений r^M , $\text{Па}\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}^6$, имеет вид

$$r^M = \xi^M \frac{\rho}{2 \cdot S_{\text{пТВ}}^2}, \quad (32)$$

$$\text{где } \xi^M = \begin{cases} 0,57 \cdot \delta^2 & \text{при повороте потока воздуха;} \\ 0,5 \left(1 - \frac{S_{\text{пт}} - S_{\text{пв}}}{S_{\text{пт}}}\right)^{3/4} & \text{при внезапном сжатии струи воздуха;} \\ \left(1 - \frac{S_{\text{пт}} - S_{\text{пв}}}{S_{\text{пт}}}\right)^2 & \text{при внезапном расширении струи воздуха;} \end{cases}$$

ξ^M — коэффициент местного сопротивления;

δ — угол поворота струи, рад;

$S_{\text{пТВ}}$ — площадь поперечного сечения потока, м^2 .

Результаты расчета позволяют определить величины аэродинамических сопротивлений и применяются в качестве входных данных для элементов вентиляционной трассы метрополитена.

6.5 Определение параметров непосредственного дымоудаления из объема станций метрополитена

6.5.1 Расход удаляемых из объема станций продуктов горения $G_{\text{дв}}$ определяется исходя из заданного значения времени безопасного пребывания пассажиров на станции в соответствии с рисунком 6.3.

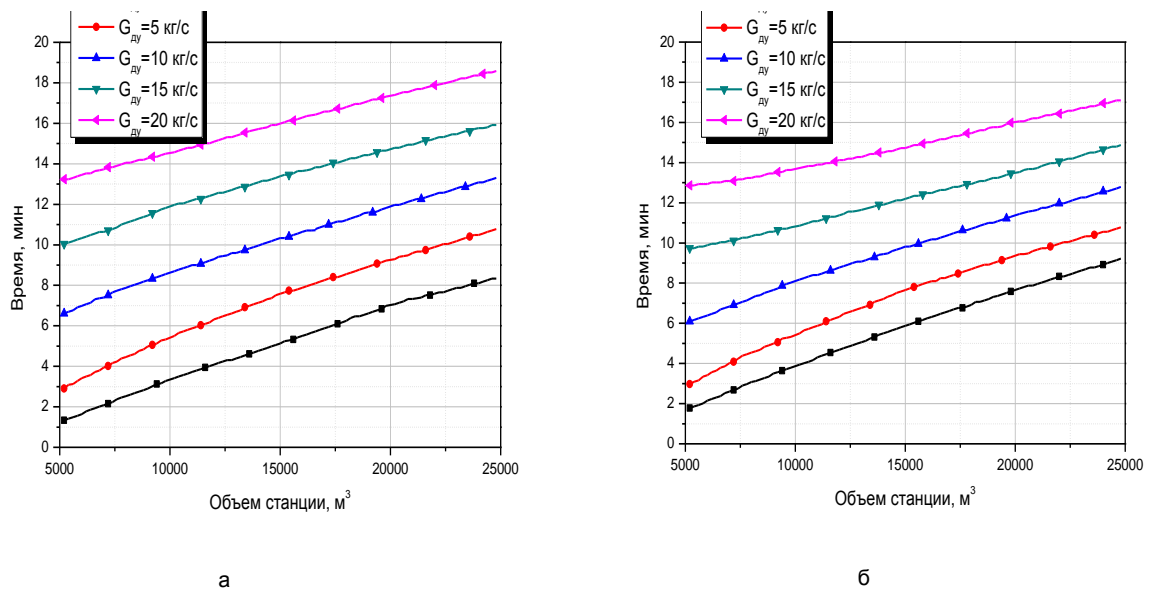


Рисунок 6.3 — Зависимость времени блокирования путей эвакуации от объема станции при разных расходах дымоудаления: а) высота станции 4 м; б) высота станции 6 м

6.5.2 При определении параметров дымоудаления следует учитывать, что с увеличением расхода дымоудаления происходит пропорциональное увеличение времени блокирования дымом путей эвакуации.

6.5.3 Для получения более точных значений рекомендуется использовать рекомендации п. 6.6.

6.6 Правила расчета расхода дыма, удаляемого на станции при пожаре подвижного состава

6.6.1 Массовый расход дыма $G_{уд}$, кг/с, подлежащий удалению, следует определять по формуле

$$G_{уд} = 0,032 \cdot Q_{пж} \cdot (1 - \chi) \cdot 10^{3 \cdot z_n^{3/5}}, \quad (33)$$

где $Q_{пж} = \eta \cdot \psi^{ср.уд.} \cdot Q_{н}^{ср.} \cdot F_r$ – скорость тепловыделения, МВт;

$\psi^{ср.уд.}$ — средняя удельная скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/(м²·с);

$Q_{н}^{ср.}$ — средняя теплота сгорания пожарной нагрузки, МДж/кг;

F_r — площадь пожара, м²;

χ — доля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту от выделившейся в очаге пожара;

z_n — координата поперечного сечения конвективной колонки, отсчитываемая от открытой поверхности горючего материала, м, принимается равной 2,5 м.

6.6.2 Допускается в формуле (33), а также в обозначениях принимать: $\chi = 0,25$, площадь очага пожара рассчитывать в зависимости от времени эвакуации пассажиров $\tau_э$, мин, при скорости линейного распространения $v_1 = 1$ м/мин, т.е. $F_r = \tau_э \cdot v_1 \cdot b \cdot a$, где b — ширина вагона, м; a — количество направлений распространения горения. При необходимости более точного учета площади очага пожара следует принимать во внимание выгорание пожарной нагрузки, при этом основные расчетные зависимости приведены в приложении А.10.

6.6.3 При определении средних значений удельной скорости выгорания и теплоты сгорания пожарной нагрузки следует руководствоваться справочными данными [3] по характеристикам пожарной нагрузки и следующими формулами:

$$\psi^{ср.уд.} = \frac{\sum_i m_i \cdot \psi_i^{ср.уд.}}{\sum_i m_i}, \quad (34)$$

$$Q_{н}^{ср.} = \frac{\sum_i m_i \cdot Q_{нi}^{ср.}}{\sum_i m_i}, \quad (35)$$

где m_i — масса i -го материала вагона, кг;

$\psi_i^{ср.уд.}$ — удельная скорость выгорания i -го материала вагона, кг/(м²·с);

$Q_{нi}^{ср.}$ — теплота сгорания i -го материала вагона, Дж/кг.

6.6.4 Для определения плотности дыма ρ_d , кг/м³, необходимо использовать зависимость (14), где в знаменателе в качестве температуры принимать расчетную температуру на входе в вентиляционные установки в соответствии с разделом 6.2.

6.6.5 Объемный расход дыма, удаляемый при пожаре, м³/с, определяется согласно выражению

$$Q_{уд} = \frac{G_{уд}}{\rho_d}. \quad (36)$$

6.6.6 В расчетах времени заполнения дымом резервуара на станции $t_{зап}$, с, необходимо, используя справочные данные по характеристикам пожарной нагрузки вагона, сначала определить время выгорания состава $t_{выг}$, с, (формула (37)), объемный расход дыма Q_d^0 , м³/с, выделяемого при пожаре без учета температурного фактора (формула (38)), а затем произвести учет температуры по зависимости (39). В результате время заполнения дымом резервуара определяет соотношение (40):

$$t_{выг} = \frac{\left(\sum_i \frac{m_i}{S_B} \right)^2}{\sum_i \left(\frac{m_i}{S_B} \cdot \psi_i^{ср.уд.} \right)} N_B, \quad (37)$$

ТКП 247-2010

где S_b — площадь пола вагона, m^2 ;

N_b — число вагонов в составе;

i — число материалов пожарной нагрузки, составляющих вагон.

$$Q_d^0 = \frac{\sum_i (Q_{di} \cdot m_i)}{t_{\text{выг}}} N_b, \quad (38)$$

где Q_{di} — удельный расход дыма от i -й составляющей пожарной нагрузки при нормальных условиях, nm^3/kg (по справочным данным).

$$Q_d(\tau) = Q_d^0 \frac{T_{kk} \tau + T_0}{T_0}, \quad (39)$$

где $Q_d(\tau)$ — объемный расход дыма при пожаре подвижного состава, m^3/c ;

$T_{kk} \tau$ — температура в сечении конвективной колонки, определяется по формуле (22);

τ — время развития пожара, с;

T_0 — температура при нормальных условиях, К.

$$t_{\text{зап}} = \frac{V_p}{Q_d(\tau_{\text{эв}})}, \quad (40)$$

где V_p — объем резервуара дыма, m^3 ;

$\tau_{\text{эв}}$ — время эвакуации пассажиров со станции, с.

6.6.7 В расчетах расхода воздуха на горение используется тот же алгоритм, что и в п. 6.6.6: определяется расход воздуха на горение Q_b^0 , m^3/c :

$$Q_b^0 = \frac{\sum_i (Q_{bi} \cdot m_i)}{t_{\text{выг}}} N_b, \quad (41)$$

где Q_{bi} — удельный расход воздуха на горение от i -й составляющей пожарной нагрузки при нормальных условиях, nm^3/kg (по справочным данным);
производится учет температурного фактора:

$$Q_b(\tau) = Q_b^0 \frac{T_{kk} \tau + T_0}{T_0}. \quad (42)$$

где $Q_b(\tau)$ — удельный расход воздуха при пожаре подвижного состава, m^3/c .

Приведенные зависимости используются для оценки величины массового расхода дыма, удаляемого при пожаре на станции, а также времени заполнения резервуара дыма.

6.7 Определение расхода дыма, выделяемого при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена

6.7.1 Массовый расход дыма, выделяемый при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена G_n , кг/с, следует определять по формуле

$$G_n = 0,05 \cdot \Pi \cdot z_n^{3/2} \cdot \rho_0 \cdot g^{1/2}, \quad (43)$$

где Π — периметр очага пожара, м;

z_n — граница незадымляемой зоны, отсчитываемая от пола тоннеля, м;

ρ_0 — плотность холодного (окружающего) воздуха, kg/m^3 ;

g — ускорение свободного падения, m/c^2 .

6.7.2 В формуле (43) в качестве периметра очага пожара следует принимать периметр двух вагонов подвижного состава, границу незадымляемой зоны — 2,5 м.

6.7.3 При расчетах объемного расхода дыма необходимо учитывать плотность продуктов горения и руководствоваться п. 6.6.4, 6.6.5.

6.7.4 Необходимым условием для предотвращения распространения дыма в продольном направлении является обеспечение критической скорости потока в тоннеле в соответствии с ТКП 45.3.03–115–2008.

Приложение А (справочное)

Примеры расчетов

А1 Пример расчета аэродинамических сопротивлений

А.1.1 Исходные данные

Рассмотрим последовательность расчетов на примере участка метрополитена в соответствии с рисунком 6.1.

$$\Gamma_{3-4} = \Gamma_i, \Gamma_{2-4} = \Gamma_f, \Gamma_{1-3} = \Gamma_p, \Gamma_{1-2} = \Gamma_m, \Gamma_{6-4} = \Gamma_c, \Gamma_{5-4} = \Gamma_b, \Gamma_{1-6} = \Gamma_i, \Gamma_{1-5} = \Gamma_j, \Gamma_{2-3} = \Gamma_d, \Gamma_{1-4} = \Gamma_b;$$

$$L_i = 400 \text{ м — длина участка 3–4;}$$

$$L_f = 400 \text{ м — длина участка 2–4;}$$

$$L_p = 270 \text{ м — длина участка 1–3;}$$

$$L_m = 270 \text{ м — длина участка 1–2;}$$

$$L_c = 200 \text{ м — длина участка 6–4;}$$

$$L_b = 200 \text{ м — длина участка 5–4;}$$

$$L_i = 250 \text{ м — длина участка 1–6;}$$

$$L_j = 250 \text{ м — длина участка 1–5;}$$

$$L_d = 15 \text{ м — длина участка 2–3;}$$

$$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3 \text{ — плотность окружающего воздуха;}$$

$$d = 5,1 \text{ м — диаметр тоннеля;}$$

$$b = 2,1 \text{ м — ширина вагона;}$$

$$h_b = 3,7 \text{ м — высота вагона;}$$

$$L_b = 20 \text{ м — длина вагона;}$$

$$N_{\text{ваг}} = 5 \text{ — общее количество вагонов в составе.}$$

Обделка тоннеля выполнена из бетонных тубингов, поэтому в соответствии с таблицей 6.3 аэродинамическое сопротивление 100-метрового участка перегонного тоннеля $r'_{\text{тт}} = 0,0017 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$ (диаметр тоннеля 5,1 м). Поезд, создающий местное аэродинамическое сопротивление, расположен на участке 6–4. Примем, что вентиляционная трасса включает станции пилонного типа, поэтому в соответствии с таблицей 6.3 $r_{\text{ст}} = 0,0139 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$.

А.1.2 Решение

А.1.2.1 Определим дополнительные геометрические характеристики:

площадь поперечного сечения тоннеля $S_{\text{тт}}$, м^2 :

$$S_{\text{тт}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 5,1^2}{4} = 20,4 \text{ м}^2;$$

площадь поперечного сечения вагона $S_{\text{пв}}$, м^2 :

$$S_{\text{пв}} = b \cdot h_b = 2,1 \cdot 3,7 = 7,77 \text{ м}^2;$$

площадь поперечного сечения потока между поездом и тоннелем $S_{\text{птв}}$, м^2 :

$$S_{\text{птв}} = S_{\text{тт}} - S_{\text{пв}} = 20,43 - 7,77 = 12,66 \text{ м}^2;$$

длина поезда L_n , м:

$$L_n = L_b \cdot N_{\text{ваг}} = 20 \cdot 5 = 100 \text{ м;}$$

периметр поперечного сечения вагона P_b , м:

$$P_b = 2 \cdot b + h_b = 2 \cdot 2,1 + 3,7 = 11,6 \text{ м.}$$

A.1.2.2 Произведем расчет аэродинамических сопротивлений согласно (29) для участков, где отсутствует подвижной состав ($r_n = 0$):

участок 3–4:

$$r_i = 0,0139 + 0,0017 \frac{400}{100} + 0 = 0,0182 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 2–4:

$$r_f = 0,0139 + 0,0017 \frac{400}{100} + 0 = 0,0182 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 1–3:

$$r_p = 0,0139 + 0,0017 \frac{270}{100} + 0 = 0,0185 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 1–2:

$$r_r = 0,0139 + 0,0017 \frac{270}{100} + 0 = 0,0185 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 5–4:

$$r_b = 0,0139 + 0,0017 \frac{200}{100} + 0 = 0,0173 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 1–6:

$$r_i = 0,0139 + 0,0017 \frac{250}{100} + 0 = 0,0207 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 1–5:

$$r_j = 0,0139 + 0,0017 \frac{250}{100} + 0 = 0,0207 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

участок 2–3:

$$r_d = 0,0139 + 0,0017 \frac{15}{100} + 0 = 0,0142 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}.$$

A.1.2.3 Произведем расчет аэродинамического сопротивления для участка 6–4 с остановившимся поездом в следующей последовательности:

определим коэффициент местного сопротивления при внезапном сжатии струи воздуха $\zeta_{\text{сж}}^{\text{М}}$ согласно п. 6.4.5:

$$\zeta_{\text{сж}}^{\text{М}} = 0,5 \left(1 - \frac{20,4 - 7,77}{20,4} \right)^{3/4} = 0,242;$$

определим коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении струи воздуха $\zeta_{\text{впр}}^{\text{М}}$ согласно п. 6.4.5:

$$\zeta_{\text{впр}}^{\text{М}} = \left(1 - \frac{20,4 - 7,77}{20,4} \right)^2 = 0,145;$$

по формуле (32) рассчитаем коэффициенты местных аэродинамических сопротивлений при внезапном сжатии $r_{\text{сж}}^{\text{М}}$, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, и расширении струи воздуха $r_{\text{впр}}^{\text{М}}$, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$:

$$r_{\text{сж}}^{\text{М}} = 0,242 \frac{1,2}{2 \cdot 12,66^2} = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

$$r_{\text{впр}}^{\text{М}} = 0,145 \frac{1,2}{2 \cdot 12,66^2} = 5,43 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

согласно формуле (30) определим аэродинамическое сопротивление остановленного в тоннеле поезда r_n , Па·с²·м⁻⁶:

$$r_n = 9,06 \cdot 10^{-4} + 0,005 \frac{100 \cdot 11,6}{20,4 - 7,77} + 5,43 \cdot 10^{-4} = 0,461 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6};$$

определим аэродинамическое сопротивление участка 6–4 с остановившимся поездом по зависимости (29):

$$r_c = 0,0139 + 0,0017 \frac{200}{100} + 0,461 = 0,478 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}.$$

Таким образом, в данном примере был произведен расчет аэродинамических сопротивлений участка метрополитена. Полученные результаты используются в дальнейшем для расчета критической депрессии тоннеля, определения скорости движения вентиляционной струи после возникновения пожара.

А.2 Пример расчета критической депрессии тоннеля

А.2.1 Исходные данные

Рассмотрим последовательность расчетов на примере участка метрополитена (рисунок 6.1).

Схема вентиляционных соединений перегона включает в себя четыре путевых тоннеля и один переход между ними (участок 4–7). Предположим, узел 4 расположен выше узла 7, тогда движение воздуха в направлении 4–5–7 является нисходящим, а в обратном направлении — восходящим. По тоннелям первого пути поезда движутся в направлении 4–6–7, а по второму пути — в направлении 7–5–4.

Предусмотрен следующий аварийный режимы работы системы тоннельной вентиляции. При пожаре в двух первых вагонах поезда и остановке его на участке 4–6 первого пути предусматривается работа: на вытяжку — двух вентиляторов ВУ 3 и двух ВУ 4, на подачу — одного вентилятора ВУ 2 и одного ВУ 1.

$r_{3-4} = r_1$, $r_{2-4} = r_f$, $r_{1-3} = r_p$, $r_{1-2} = r_m$, $r_{6-4} = r_c$, $r_{5-4} = r_b$, $r_{1-6} = r_j$, $r_{1-5} = r_j$, $r_{2-3} = r_d$, $r_{1-4} = r_v$ — аэродинамические сопротивления тоннелей и переходов между тоннелями, Н·с²/м⁸; r_{n2} и r_{n3} — сопротивления параллельных соединений из ветвей (тоннелей) r_{1-2} , r_{2-4} , r_{1-3} , r_{3-4} , Н·с²/м⁸; Q_c — расход воздуха, рассчитанный или измеренный в тоннеле на участке 4–6 при работе двух вентиляторов ВУ 4 на вытяжку (остальные, ближайшие — ВУ 0, ВУ 1, ВУ 2, ВУ 3 — остановлены), м³/с; Q_{ca} — расход воздуха на участке 4–6, рассчитанный или измеренный в соответствующем аварийном режиме работы системы тоннельной вентиляции, м³/с; $\sum Q_{ВУ4}$ — суммарный расход воздуха в тоннелях (участки 1–6, 1–5, 1–3, 1–2), примыкающих к ВУ 4, при одновременной работе двух вентиляторов ВУ 4 на вытяжку, м³/с.

В соответствии с обозначениями и данными, полученными в А.1, производится расчет для следующих параметров:

$r_d = 0,0142 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_j = 0,0207 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_b = 0,0173 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_v = 0,044 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$ (принято как аэродинамическое сопротивление сопряжения вестибюля с поверхностью при трех открытых дверях), $r_m = 0,0185 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_f = 0,0182 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_p = 0,0185 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_1 = 0,0182 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $r_c = 0,478 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$, $Q_{ca} = 58,0 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_c = 14,3 \text{ м}^3/\text{с}$, $\sum Q_{ВУ4} = 65,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

А.2.2 Решение

А.2.2.1 Определяем величину k_c по формуле (5):

$$k_c = \frac{Q_{ca}}{Q_c} = \frac{58,0}{14,3} = 4,06.$$

А.2.2.2 Определяем величину сопротивления параллельного соединения r_{n1} :

$$r_{n1} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{r_j}} + \frac{1}{\sqrt{r_f + r_d}} \right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{0,0207}} + \frac{1}{\sqrt{0,0207 + 0,0142}} \right)^2} = 0,0059 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8.$$

A.2.2.3 Определяем величины сопротивлений параллельных соединений r_{n2} и r_{n3} :

$$r_{n2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{r_m}} + \frac{1}{\sqrt{r_f}}\right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{0,0185}} + \frac{1}{\sqrt{0,0182}}\right)^2} = 0,0049 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8;$$

$$r_{n3} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{r_p}} + \frac{1}{\sqrt{r_f}}\right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{0,0185}} + \frac{1}{\sqrt{0,0182}}\right)^2} = 0,0049 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8.$$

A.2.2.4 Определяем величину k_n по формуле (6):

$$k_n = 0,478 + 0,0059 \left(\frac{1}{\sqrt{0,044}} + \frac{1}{\sqrt{0,0049 + 0,0049}} \right)^2 = 106,95.$$

A.2.2.5 Определяем величину критической депрессии тоннеля по формуле (4):

$$h_{кр} = 10 \cdot \left(4,06 \frac{65,2}{\sqrt{106,95 + 1}} \right)^2 \left[0,0173 + \frac{0,0142}{\left(1 + \sqrt{\frac{0,0142 + 0,0207}{0,0207}} \right)^2} \right] = 108,2 \text{ Па.}$$

Полученные результаты используются в дальнейшем для оценки устойчивости воздушно-дымовых потоков в тоннелях метрополитена с нисходящим проветриванием, а также при определении скорости движения вентиляционной струи после возникновения пожара.

A.3 Пример расчета температуры продуктов горения от очага пожара при различном удалении от горящего вагона

A.3.1 Исходные данные

$N_{\text{ваг}} = 2$ — количество горящих вагонов в составе;

$\lambda = 2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ — коэффициент теплопроводности обделок тоннеля;

$d = 5,01 \text{ м}$ — диаметр тоннеля;

$c_{об} = 840 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ — теплоемкость обделки тоннеля;

$\rho_{об} = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ — плотность обделки;

$T_w = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ — температура воздушной среды до пожара;

$\varepsilon = 3,4$ — коэффициент шероховатости обделок;

$D_{\text{экв}} = 4,81 \text{ м}$ — эквивалентный диаметр тоннеля;

$S = 18,62 \text{ м}^2$ — площадь поперечного сечения тоннеля, м^2 ;

$q = 58 \text{ м}^3/\text{с}$ — объемный расход воздуха на участке;

$x = 0, 20, 100, 200, 300, 400, 500 \text{ м}$ — расстояние от горящего вагона до конца тоннеля, м.

A.3.2 Решение

A.3.2.1 Поскольку принято число горящих вагонов в составе $N_{\text{ваг}} = 2$, то выражение (12) принимаем в следующем виде:

$$T_{\text{оп}} \tau = A + B_1 \cdot \tau + B_2 \cdot \tau^2 + B_3 \cdot \tau^3 + B_4 \cdot \tau^4 + B_5 \cdot \tau^5 + B_6 \cdot \tau^6 + B_7 \cdot \tau^7 + B_8 \cdot \tau^8 + B_9 \cdot \tau^9,$$

где $A = 14,04554 \text{ }^\circ\text{C}$; $B_1 = 0,36831 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$; $B_2 = -4,79632 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^2$; $B_3 = 4,95566 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^3$;
 $B_4 = -2,01394 \cdot 10^{-10} \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^4$; $B_5 = 3,27887 \cdot 10^{-14} \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^5$; $B_6 = -1,8065 \cdot 10^{-18} \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^6$; $B_7 = 0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^7$; $B_8 = 0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^8$;
 $B_9 = 0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}^9$.

Построенная с учетом принятых коэффициентов зависимость имеет следующий вид (рисунок А.1):

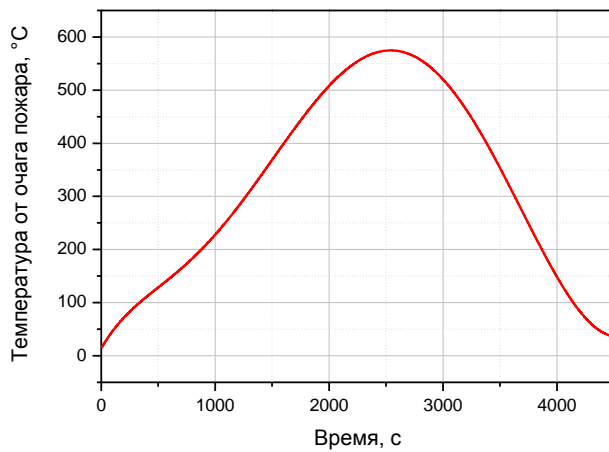


Рисунок А.1 — Временная зависимость температуры от очага пожара

А.3.2.2 Рассчитываем коэффициент температуропроводности:

$$a = \frac{2}{840 \cdot 2000} = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

А.3.2.3 После подстановки исходных данных производим построение функций плотности, скорости потока, теплоемкости среды согласно формулам (14)–(16):

$$\rho \tau = \frac{353}{273 + T_{\text{он}} \tau}; u \tau = \frac{58,0 \cdot \rho_0}{18,62 \cdot \rho \tau};$$

$$c_p \tau = -3,9 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\text{он}} \tau^3 + 5,32 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{он}} \tau^2 + 0,0044 \cdot T_{\text{он}} \tau + 1006.$$

А.3.2.4 Определяем функции $\varphi \tau$ (формула **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) и $\alpha \tau$ (формула (11)):

$$\varphi \tau = 2 \cdot \sqrt{1 + 3,2 \cdot \sqrt{\frac{1,19 \cdot 10^{-6} \cdot \tau}{5,01^2}}}; \alpha \tau = \frac{2,6 \cdot 3,4 \cdot \rho \tau \cdot u \tau^{0,8}}{4,81^{0,2}}.$$

А.3.2.5 Производим построение функции для определения коэффициента нестационарного теплообмена в соответствии с (9) и по соотношению (8) определяем зависимость температуры струи продуктов горения от времени в исследуемом сечении тоннеля (рисунок А.2):

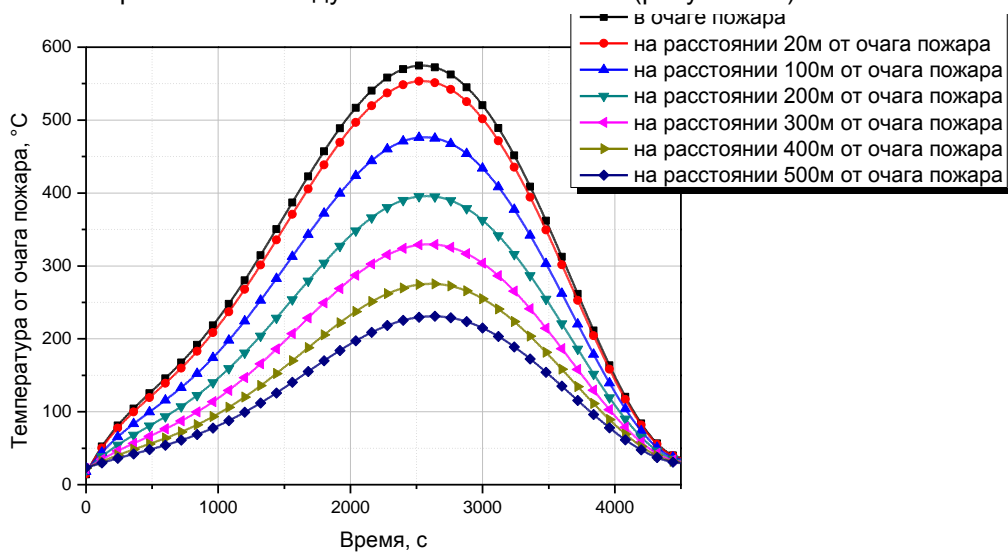


Рисунок А.2 — Зависимость температуры струи продуктов горения от времени в исследуемом сечении тоннеля

Полученные результаты используются в расчете тепловой депрессии пожара в тоннеле.

А.4 Пример расчета тепловой депрессии пожара в тоннеле

А.4.1 Исходные данные

Расчет производится для тоннеля с продольной координатой x , м, с разностью высотных отметок начала и конца задымленного участка y , м:

$$y = \begin{cases} 0,2 \text{ м, при } 0 \leq x \leq 20 \text{ м;} \\ 1 \text{ м, при } 0 \leq x \leq 100 \text{ м;} \\ 2 \text{ м, при } 0 \leq x \leq 200 \text{ м;} \\ 3 \text{ м, при } 0 \leq x \leq 300 \text{ м;} \\ 4 \text{ м, при } 0 \leq x \leq 400 \text{ м;} \\ 5 \text{ м, при } 0 \leq x \leq 500 \text{ м.} \end{cases}$$

Дополнительно используются исходные данные и результаты расчетов в п. А.3.

А.4.2 Решение

А.4.2.1 В соответствии с рисунком А.2 определяются максимальные значения температур в очаге пожара и на удалении 20, 100, 200, 300, 400, 500 м, по формулам (17)–(19) — средние температуры по длине тоннеля, коэффициенты теплового сопротивления, величины тепловой депрессии пожара.

А.4.2.2 Результаты расчетов приведены в таблице А.1:

Таблица А.1 — Результаты расчета тепловой депрессии пожара

Параметр	Расстояние от очага пожара, м					
	20	100	200	300	400	500
Максимальная температура продуктов горения от очага пожара, °С	575	575	575	575	575	575
Максимальная температура продуктов горения на заданном расстоянии, °С	554	477	396	330	275	231
Средняя температура по длине тоннеля, °С	564,5	526	485,5	452,5	425	403
Коэффициент теплового сопротивления	2,81	2,681	2,545	2,435	2,342	2,268
Разность высотных отметок начала и конца задымленного участка тоннеля, м	0,2	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Величина тепловой депрессии пожара, Па	1,58	7,68	14,87	21,66	28,08	34,25

Данные таблицы А.1 используются для определения устойчивости воздушно-дымовых потоков в тоннелях метрополитена, при расчете скорости движения вентиляционной струи после возникновения пожара.

А.5 Пример определения устойчивости воздушно-дымовых потоков в тоннелях метрополитена

А.5.1 Исходные данные

В качестве исходных данных принимаются данные и результаты расчетов в п. А.2, А.4, при этом расстояние от очага пожара до места возгорания — 200 м.

А.5.2 Решение

Согласно неравенству (1) производится сравнение найденных ранее величин критической и тепловой депрессий:

$$108,2 > 34,25.$$

Величина критической депрессии больше тепловой депрессии пожара, следовательно проветривание тоннеля будет устойчивым.

А.6 Пример расчета скорости движения вентиляционной струи после возникновения пожара

А.6.1 Исходные данные

$r_c = 0,478 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$ — аэродинамическое сопротивление туннеля с поездом.

В качестве исходных данных принимаются данные и результаты расчетов в п. А.1–А.4, при этом расстояние от очага пожара до места возгорания — 200 м.

А.6.2 Решение

Согласно соотношению (20) производится расчет:

$$v_{ав} = + \frac{1}{18,62} \sqrt{\frac{108,2 - 34,25}{2,268 \cdot 0,478}} = +0,44 \text{ м/с.}$$

Оценка направления и значения скорости движения вентиляционного потока после возникновения пожара требуется для создания условий безопасной эвакуации пассажиров при пожаре в туннеле метрополитена.

А.7 Пример расчета температуры смеси продуктов горения и воздуха в венткамере

А.7.1 Исходные данные

$\sigma = 0,35$ — относительный массовый расход продуктов горения;

$c_p^p = c_p^0$ — изобарная теплоемкость воздуха до пожара, Дж/(кг·°С), где c_p^0 — значение функции (16) при $\tau = 0$;

$x = 20, 100, 200, 300, 400, 500 \text{ м}$ — расстояние от горящего вагона до конца туннеля, м.

Дополнительно используются данные и результаты расчетов в п. А.3.

А.7.2 Решение

Строим графики зависимости $T_{см}$ τ, x в соответствии с формулой (21) при различном расстоянии x , м, от горящего вагона до перегонной венткамеры. Результаты расчетов представлены на рисунке А.3.

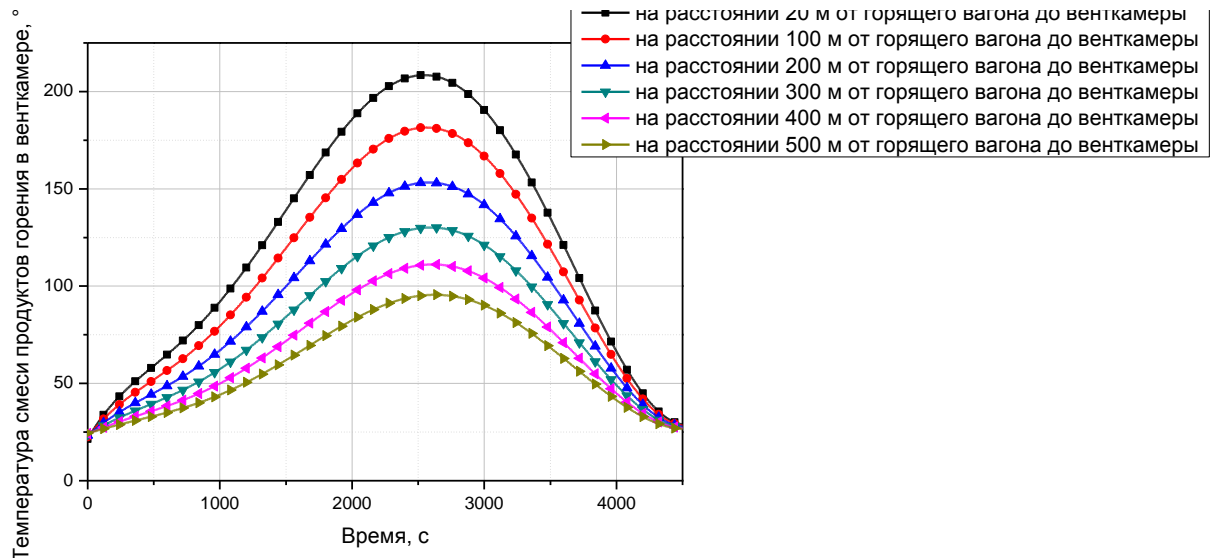


Рисунок А.3 — Зависимость температуры продуктов горения на входе в венткамеру при различном удалении от очага пожара

Теплофизический расчет максимального значения температуры продуктов горения на входе в венткамеру при различном удалении от очага пожара (подвижного состава) в туннеле необходим для подбора вентиляционного оборудования, обеспечивающего работу в условиях повышенных температур.

А.8 Пример расчета ПДЗ для эскалаторного туннеля

А.8.1 Исходные данные

$H_{ст} = 10 \text{ м}$ — глубина заложения станции;

$\tau = 900$ с — расчетное время эвакуации;

$r_{\text{вх}} = 0,88 \cdot 10^{-2}$ Па·с²·м⁻⁶ — сопротивление сопряжений эскалаторного тоннеля с залом станции и вестибюлем;

$r'_3 = 1,07 \cdot 10^{-2}$ Па·с²·м⁻⁶ — сопротивление 100-метрового участка эскалаторного тоннеля;

$r_b = 4,4 \cdot 10^{-2}$ Па·с²·м⁻⁶ — сопротивление вестибюля;

$Q^3 = 28$ м³/с — объемный расход воздуха в эскалаторном тоннеле при нормальных условиях;

$F_3 = 18,36$ м² — сечение эскалаторного тоннеля в сопряжении с залом станции.

Станция односводчатая, поэтому по таблице 6.2 критическая скорость движения воздушного потока при пожаре составляет 1,8 м/с.

А.8.2 Решение

А.8.2.1 В соответствии с формулой (24) определяется тепловая депрессия пожара в эскалаторном тоннеле:

$$h_T^3 \tau = 39,66 + 4,66 \cdot 10^{-4} \cdot 900^{1,26} \cdot e^{-5 \cdot 10^{-4} \cdot 900} = 29 \text{ Па.}$$

А.8.2.2 Согласно зависимости (26) определяем величину критической депрессии эскалаторного тоннеля:

$$h_{\text{кр}}^3 > 2 \cdot 29 = 58 \text{ Па.}$$

А.8.2.3 Определяются варианты противодымной защиты, создающие критическую депрессию, которая превышает найденное значение. Например, примем вариант противодымной защиты, обеспечивающий значение 90 Па.

А.8.2.4 Выполнение условия устойчивости (2) гарантирует создание нисходящего потока в эскалаторном тоннеле по интегральной оценке, однако не исключает возникновение встречного по направлению стратифицированного потока продуктов горения под сводом. Условием полной незадымляемости является выполнение неравенства (3).

А.8.2.5 Сопротивление эскалатора определяет зависимость

$$r_3 = 0,88 \cdot 10^{-2} + 1,07 \cdot 10^{-2} \frac{10}{50} + 4,4 \cdot 10^{-2} = 0,055 \text{ Па·с}^2 \cdot \text{м}^{-6}.$$

А.8.2.6 Определяем величину депрессии в эскалаторном тоннеле при отсутствии пожара согласно зависимости (25):

$$h^3 = 0,055 \cdot 28^2 = 43,12 \text{ Па.}$$

А.8.2.7 Расход воздуха в эскалаторном тоннеле определяется в соответствии с (27):

$$Q_{T_3} = \frac{\sqrt{\left(\frac{90 - 43,12}{28}\right)^2 + 4 \cdot 0,055 \cdot 90 - 29} - \frac{90 - 43,12}{28}}{2 \cdot 0,055} = 34,7 \text{ м}^3/\text{с.}$$

А.8.2.8 Скорость в эскалаторном тоннеле находится по формуле (28):

$$v_T^3 = \frac{34,7}{18,36} = 1,9 \text{ м/с.}$$

А.8.2.9 Сравнивая полученное значение скорости с нормируемым по таблице 6.2 (1,9 м/с > 1,8 м/с), делается заключение, что условие задымляемости не выполняется.

А.9 Пример расчета массового расхода дыма, удаляемого при пожаре на станции метрополитена

А.9.1 Исходные данные

$\chi = 0,25$ — доля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту от выделившейся в очаге пожара;

$\eta = 0,9$ — коэффициент полноты сгорания;

$z = 2,5$ м — координата поперечного сечения конвективной колонки, отсчитываемая от открытой поверхности горючего материала, м;

ТКП 247-2010

$\tau_{эв} = 15$ мин — время эвакуации пассажиров со станции (определяется расчетом);

$a = 2$ — число направлений распространения горения;

$b = 3$ м — ширина вагона;

$v_l = 1$ м/мин — скорость линейного распространения горения.

Данные по характеристикам пожарной нагрузки вагона представлены в таблице А.2:

Таблица А.2 — Характеристики пожарной нагрузки вагона Е_м-501

Материал	Масса m_i , кг	Скорость выгорания $\psi_i^{ср.уд.}$, кг/(м ² ·с)	Теплота сгорания $Q_{ни}^{ср.}$, МДж/кг	Удельный расход дыма $Q_{ди}$, нм ³ /кг	Удельный расход воздуха $Q_{ви}$, нм ³ /кг
Сосна	465,0	0,014	13,8	4,9	4,2
Пластик бумажно-слоистый	298,0	0,0112	33,5	11,0	10,0
Фанера ФСФ	335,0	0,014	13,8	4,9	4,2
Линолеум алкидный А-3	175,0	0,0143	25,0	7,2	6,0
Резина марки 6190	143,0	0,0112	33,5	10,5	10,0
Бук	82,4	0,014	13,8	4,9	4,2
Плита столлярная	80,0	0,014	13,8	4,9	4,2
Винилискожа	33,5	0,0143	25,0	7,2	6,0
Пенополиуретан ППУ-40-08с	27,5	0,0112	33,5	11,0	10,0
Текстолит	44,0	0,0067	20,9	6,0	5,5
Эмаль ПФ-115 сухая	83,0	0,0112	33,5	11,0	10,0
Прочие материалы	384,0	0,0125	20,0	7,6	6,8

А.9.2 Решение

А.9.2.1 Определяем площадь очага пожара:

$$F_r = 15 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 2 = 90 \text{ м}^2.$$

А.9.2.2 Определяем средние значения удельной скорости выгорания $\psi^{ср.уд.}$ и теплоты сгорания пожарной нагрузки $Q_n^{ср.}$ по формулам (34), (35) соответственно:

$$\psi^{ср.уд.} = \frac{465 \cdot 0,014 + 298 \cdot 0,0112 + 335 \cdot 0,014 + 175 \cdot 0,0143 + 143 \cdot 0,0112}{465 + 298 + 335 + 175 + 143 + 82,4 + 80 + 33,5 + 27,5 + 44 + 83 + 384} + \frac{82,4 \cdot 0,014 + 80 \cdot 0,014 + 33,5 \cdot 0,0143 + 27,5 \cdot 0,0112 + 44 \cdot 0,0067 + 83 \cdot 0,0112 + 384 \cdot 0,0125}{465 + 298 + 335 + 175 + 143 + 82,4 + 80 + 33,5 + 27,5 + 44 + 83 + 384} = 0,013 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

$$Q_n^{ср.} = \frac{465 \cdot 13,8 + 298 \cdot 33,5 + 335 \cdot 13,8 + 175 \cdot 25 + 143 \cdot 33,5}{465 + 298 + 335 + 175 + 143 + 82,4 + 80 + 33,5 + 27,5 + 44 + 83 + 384} + \frac{82,4 \cdot 13,8 + 80 \cdot 13,8 + 33,5 \cdot 25 + 27,5 \cdot 33,5 + 44 \cdot 20,9 + 83 \cdot 33,5 + 384 \cdot 20}{465 + 298 + 335 + 175 + 143 + 82,4 + 80 + 33,5 + 27,5 + 44 + 83 + 384} = 21,19 \text{ МДж/кг}.$$

А.9.2.3 Находим скорость тепловыделения:

$$Q_{пож} = 0,9 \cdot 0,013 \cdot 21,19 \cdot 90 = 22,3 \text{ МВт}.$$

А.9.2.4 Определяем массовый расход дыма $G_{уд}$, кг/с, подлежащий удалению, по формуле (33):

$$G_{уд} = 0,032 \cdot 22,3 \cdot 10^3 \cdot 1 - 0,25^{3/5} \cdot 2,5 = 27,6 \text{ кг/с}.$$

Полученное значение массового расхода дыма, удаляемого при пожаре, используется для расчета производительности станционных вентустановок (установок дымоудаления).

А.10 Пример расчета массового расхода дыма, выделяемого при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена

А.10.1 Исходные данные

$P = 100$ м — периметр очага пожара;

$z_n = 2,5$ м — граница незадымляемой зоны, отсчитываемая от пола тоннеля;

$\rho_0 = 1,2$ кг/м³ — плотность холодного (окружающего) воздуха.

А.10.2 Решение

Производим расчет по формуле (43):

$$G_n = 0,05 \cdot 100 \cdot 2,5^{3/2} \cdot 1,2 \cdot 9,8^{1/2} = 55,6 \text{ кг/с.}$$

Полученное значение массового расхода дыма, выделяемого при пожаре, используется для расчета производительности перегонных вентустановок при пожаре подвижного состава.

А.11 Пример расчета ПДЗ на станции

А.11.1 Исходные данные

Станция мелкого заложения с двумя лестничными маршами представляет собой подземное сооружение с массовым пребыванием людей. Объем резервуара дыма 4000 м³, конструктивно создается дымонепроницаемыми перегородками с нижней отметкой 2,5 м от уровня платформы. Дымоудаление производится станционными установками системы тоннельной вентиляции с расходом 256 000 м³/с через пилоны на станции, поперечное сечение 4-х задействованных воздуховодов составляет 8 м², минимальное расстояние одного из воздуховодов до вентустановки составляет 72 м. Условия эксплуатации отдельных узлов вентиляционных установок ограничены температурой 150 °С.

$L_b = 20$ м — длина вагона;

$b = 2,6$ м — ширина вагона;

$S_b = 52$ м² — площадь пола вагона подвижного состава;

$N_{\text{ваг}} = 5$ — общее количество вагонов в составе;

$N_{\text{возд}} = 4$ — общее количество воздуховодов, подходящих к вентустановке;

$L_n = 100$ м — длина поезда;

$S_n = 260$ м² — площадь пола подвижного состава;

$x = 72$ м — минимальное расстояние одного из воздуховодов до вентустановки;

$T_0 = 293$ К — температура окружающего воздуха;

$v_l = 0,0167$ м/с — скорость линейного распространения;

$\eta = 0,9$ — коэффициент полноты сгорания;

$\chi = 0,25$ — доля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту от выделившейся в очаге

пожара;

$g = 9,8$ м/с² — ускорение свободного падения;

$\tau_{\text{эв}} = 900$ с — время эвакуации пассажиров со станции (определяется расчетом);

$z_n = 2,5$ м — высота незадымляемой зоны;

$V_p = 4000$ м³ — объем резервуара дыма;

$S_{\text{возд}} = 8$ м² — площадь поперечного сечения воздуховодов;

$P_{\text{возд}} = 14,5$ м — периметр сечения воздуховодов;

$\varepsilon = 2,1$ — коэффициент шероховатости воздуховодов;

$\lambda = 2$ Вт/(м²·°С) — коэффициент теплопроводности воздуховодов;

$G_s = 54$ кг/с — суммарный массовый расход воздуха через эскалаторные тоннели;

$c_{\text{об}} = 840$ Дж/(кг·°С) — теплоемкость обделки воздуховодов;

$\rho_{\text{об}} = 2000$ кг/м³ — плотность обделки воздуховодов;

$c_p^B = 1090$ Дж/(кг·°С) — удельная изобарная теплоемкость.

Дополнительно используются данные таблицы А.2.

А.11.2 Решение

А.11.2.1 По формуле (37) и данным таблицы А.2 определяем время выгорания состава $t_{\text{выг}}$, с:

$$t_{\text{выг}} = \left(\frac{465 + 298 + 335 + 175 + 143 + 82,4 + 80 + 33,5 + 27,5 + 44 + 83 + 384}{52} \right) \cdot 5 / \\ / \left(\frac{465 \cdot 0,014 + 298 \cdot 0,011 + 335 \cdot 0,014 + 175 \cdot 0,014 + 143 \cdot 0,011 + 82,4 \cdot 0,014 + 80 \cdot 0,014}{52} + \right. \\ \left. + \frac{33,5 \cdot 0,014 + 27,5 \cdot 0,011 + 44 \cdot 6,7 \cdot 10^{-3} + 83 \cdot 0,011 + 384 \cdot 0,013}{52} \right) = 16036 \text{ с.}$$

А.11.2.2 Используя данные таблицы А.2, по формулам (38) и (41) соответственно определяем объемный расход продуктов горения $Q_{\text{д}}^0$, $\text{нм}^3/\text{с}$, и воздуха на горение $Q_{\text{в}}^0$, $\text{нм}^3/\text{с}$, без учета температурного фактора:

$$Q_{\text{д}}^0 = 5 \cdot \left(\frac{4,9 \cdot 465 + 11 \cdot 298 + 4,9 \cdot 335 + 7,2 \cdot 175 + 10,5 \cdot 143 + 4,9 \cdot 82,4}{16036} \right) + \\ + 5 \cdot \left(\frac{4,9 \cdot 80 + 7,2 \cdot 33,5 + 11 \cdot 27,5 + 6 \cdot 44 + 11 \cdot 83 + 7,6 \cdot 384}{16036} \right) = 4,8 \text{ нм}^3/\text{с.}$$

$$Q_{\text{в}}^0 = 5 \cdot \left(\frac{4,2 \cdot 465 + 10 \cdot 298 + 4,2 \cdot 335 + 6,0 \cdot 175 + 10,0 \cdot 143 + 4,2 \cdot 82,4}{16036} \right) + \\ + 5 \cdot \left(\frac{4,2 \cdot 80 + 6,0 \cdot 33,5 + 10 \cdot 27,5 + 5,5 \cdot 44 + 10 \cdot 83 + 6,8 \cdot 384}{16036} \right) = 4,259 \text{ нм}^3/\text{с.}$$

А.11.2.3 Принимаем средние значения удельной скорости выгорания $\psi^{\text{сп.уд}}$ и теплоты сгорания пожарной нагрузки $Q_{\text{н}}^{\text{сп}}$ в соответствии с п. А.8.2.2, т.е.

$$\psi^{\text{сп.уд}} = 0,013 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с});$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{сп}} = 21,19 \text{ МДж}/\text{кг}.$$

А.11.2.4 В данном примере найдем площадь очага пожара (при круговом распространении пламени) с учетом выгорания пожарной нагрузки. Для этого определим время $\tau_{\text{ст}}$, с, начиная с которого происходит выгорание материалов, составляющих пожарную нагрузку:

$$\tau_{\text{ст}} = \frac{\sum_i \left(\frac{m_i}{S_n} \right)}{\psi^{\text{сп.уд}}} \cdot N_{\text{вар}} = \left(\frac{465 + 298 + 335 + 175 + 143 + 82,4 + 80 + 33,5 + 27,5 + 44 + 83 + 384}{260} \right) \cdot 5 / 0,013 = \\ = 3207 \text{ с.}$$

А.11.2.5 Введем следующие вспомогательные функции от времени τ , с:

$$R_f \tau = v_1 \cdot \tau \text{ — радиус горения, м;}$$

$$R_s \tau = v_1 \cdot \tau - \tau_{\text{ст}} \text{ — радиус выгорания, м;}$$

$$D_{\text{сост}} = \sqrt{b^2 + L_n^2} \text{ — диаметр пола подвижного состава, м.}$$

Угловые функции:

$$\phi_f \tau = 2 \cdot \arccos \left(\frac{b}{2 \cdot R_f \tau} \right); \chi_f \tau = 2 \cdot \arccos \left(\frac{L_n}{2 \cdot R_f \tau} \right);$$

$$\phi_s \tau = 2 \cdot \arccos \left(\frac{b}{2 \cdot R_s \tau} \right); \chi_s \tau = 2 \cdot \arccos \left(\frac{L_n}{2 \cdot R_s \tau} \right).$$

А.11.2.6 Для варианта загорания в вагоне подвижного состава метрополитена рассматривается следующая схема развития пожара. Предполагается, что горючие материалы размещаются от уровня верхнего строения на высоте, соответствующей высоте уровня пола вагона. Принимается

расположение очага пожара в центральной части поезда. После достижения фронтом горения боковых стенок вагона (всего состава) площадь горения будет представлять часть круга с увеличивающимся радиусом, ограниченного боковыми стенками вагона (всего состава).

А.11.2.7 Построим функцию площади очага пожара $F_f \tau$, м², без учета выгорания:

$$F_f \tau = \begin{cases} \pi \cdot R_f \tau^2, & \text{если } R_f \tau \leq 0,5 \cdot b; \\ R_f \tau^2 \cdot \pi - \phi_f \tau + \sin \phi_f \tau, & \text{если } 0,5 \cdot b < R_f \tau \leq 0,5 \cdot L_n; \\ R_f \tau^2 \cdot \pi - \phi_f \tau + \sin \phi_f \tau - \chi_f \tau + \sin \chi_f \tau, & \text{если } 0,5 \cdot L_n < R_f \tau \leq 0,5 \cdot D_{\text{соот}}; \\ b \cdot L_n, & \text{если } R_f \tau > 0,5 \cdot D_{\text{соот}}. \end{cases}$$

А.11.2.8 Построим функцию площади выгорания $F_s \tau$, м²:

$$F_s \tau = \begin{cases} \pi \cdot R_s \tau^2, & \text{если } R_s \tau \leq 0,5 \cdot b; \\ R_s \tau^2 \cdot \pi - \phi_s \tau + \sin \phi_s \tau, & \text{если } 0,5 \cdot b < R_s \tau \leq 0,5 \cdot L_n; \\ R_s \tau^2 \cdot \pi - \phi_s \tau + \sin \phi_s \tau - \chi_s \tau + \sin \chi_s \tau, & \text{если } 0,5 \cdot L_n < R_s \tau \leq 0,5 \cdot D_{\text{соот}}; \\ b \cdot L_n, & \text{если } R_s \tau > 0,5 \cdot D_{\text{соот}}. \end{cases}$$

А.11.2.9 Обобщенная форма функции площади очага пожара $F_r \tau$, м², с учетом выгорания при круговом распространении пламени в подвижном составе метрополитена имеет следующий вид:

$$F_r \tau = \begin{cases} F_f \tau, & \text{если } 0 \leq \tau \leq \tau_{\text{ст}}; \\ F_f \tau - F_s \tau, & \text{если } \tau > \tau_{\text{ст}}. \end{cases}$$

Используя исходные данные с учетом формул в п. А.11.2.5–А.11.2.7, построим график зависимости площади очага пожара с учетом выгорания от времени (рисунок А.4).

А.11.2.10 Тепловую мощность очага пожара $Q_{\text{пож}} \tau$, МВт, определяют в соответствии с формулой

$$Q_{\text{пож}} \tau = \eta \cdot \psi^{\text{сп.уд.}} \cdot Q_H^{\text{сп}} \cdot F_r \tau.$$

С учетом входных и расчетных данных полученная зависимость тепловой мощности очага пожара имеет вид, изображенный на рисунке А.5.

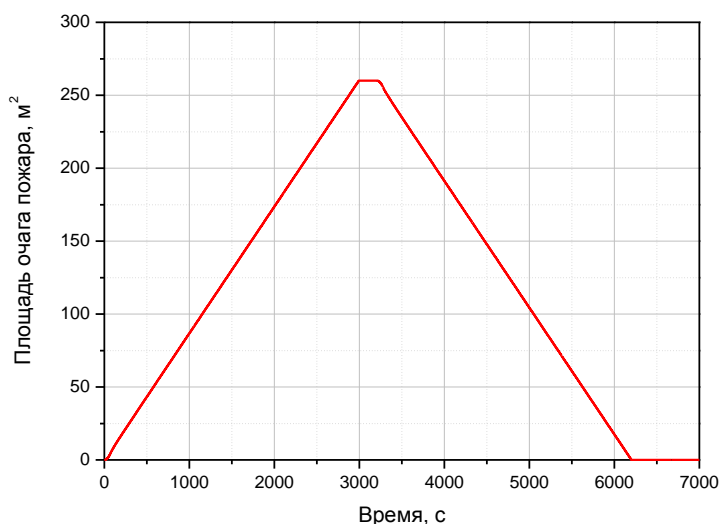


Рисунок А.4 — Зависимость площади очага пожара от времени

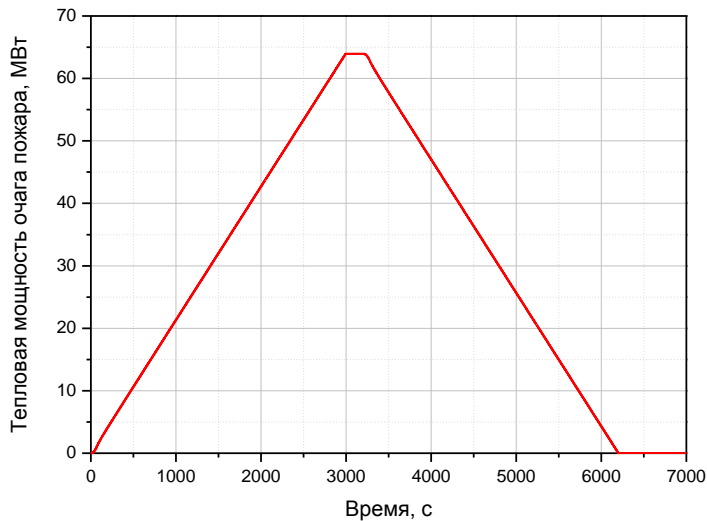


Рисунок А.5 — Зависимость тепловой мощности очага пожара от времени

А.11.2.11 Для определения массового расхода дыма, удаляемого при пожаре подвижного состава на станции метрополитена, воспользуемся зависимостью (33):

$$G_{уд} \tau = 0,032 \cdot Q_{пож} \tau \cdot (1 - \chi) \cdot 10^3 \cdot z_H^{3/5},$$

где $Q_{пож} \tau$ — определено в п. А.11.2.10, МВт;

$$\chi = 0,25;$$

$$z_H = 2,5 \text{ м.}$$

Зависимость массового расхода дыма, удаляемого при пожаре подвижного состава на станции метрополитена, показана на рисунке А.6 до $\tau_{эв} = 900$ с.

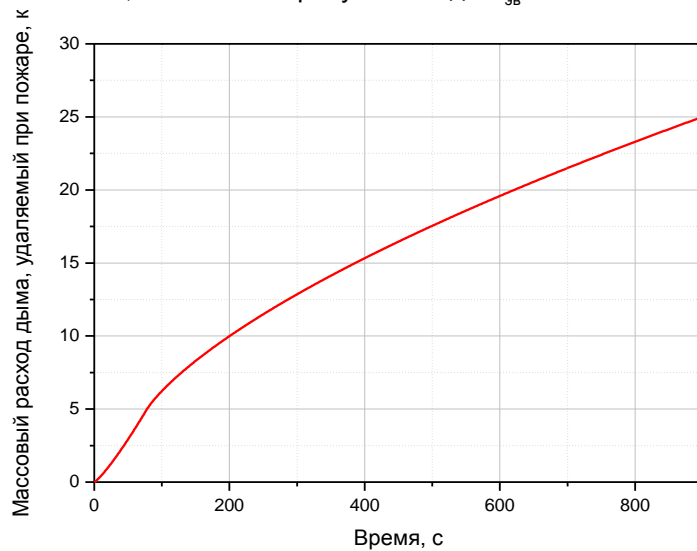


Рисунок А.6 — Зависимость массового расхода дыма, удаляемого при пожаре от времени

А.11.2.12 Температура в сечении конвективной колонки $T_{kk} \tau$, °С, определена видом (22):

$$T_{kk} \tau = \frac{1 - \chi \cdot Q_{пож} \tau \cdot 10^6}{c_p^B \cdot G_{уд} \tau} + T_0 - 273,$$

где $Q_{пож} \tau$ — определено в п. А.10.2.10, МВт;

$$\chi = 0,25;$$

$$c_p^B = 1090 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)};$$

$$T_0 = 293 \text{ К};$$

$G_{уд} \tau$ — определено в п. А.11.2.11.

Построенная зависимость температуры от времени изображена на рисунке А.7.

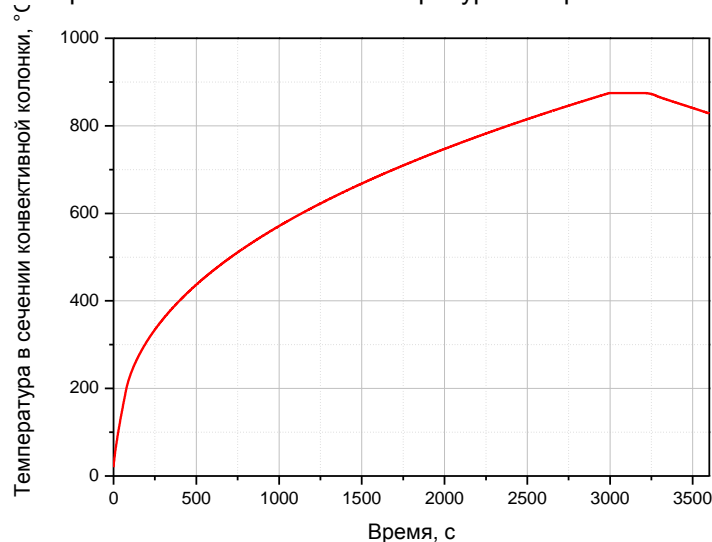


Рисунок А.7 — Зависимость температуры в сечении конвективной колонки от времени

А.11.2.13 Находим с учетом температурного фактора объемный расход продуктов горения, воздуха на горение материалов пожарной нагрузки по формулам (39), (42) соответственно:

$$Q_d(\tau) = Q_d^0 \frac{T_{kk} \tau + T_0}{T_0};$$

$$Q_b(\tau) = Q_b^0 \frac{T_{kk} \tau + T_0}{T_0};$$

где согласно п. А.11.2.2 $Q_d^0 = 4,8 \text{ нм}^3/\text{с}$, $Q_b^0 = 4,259 \text{ нм}^3/\text{с}$;

$T_{kk} \tau$ — определено в п. А.11.2.12;

$$T_0 = 239 \text{ К}.$$

А.11.2.14 По формуле (40) определяем время заполнения дымом резервуара на станции $t_{зап}$, с:

$$t_{зап} = \frac{4000}{13,78} = 290 \text{ с}.$$

Поскольку время заполнения резервуара дымом на станции меньше расчетного времени эвакуации пассажиров ($290 < 900 \text{ с}$), необходимо обеспечивать дымоудаление из объема станции при пожаре.

А.11.2.15 Проводим тепловой расчет

А.11.2.15.1 С учетом полученных в п. А.11.2.11 результатов определяем массовый расход дыма, удаляемого при пожаре, на момент эвакуации пассажиров $G_{уд}^{max}$, кг/с:

$$G_{уд}^{max} = G_{уд} \tau_{эв} = G_{уд} 900 = 25,0 \text{ кг/с};$$

А.11.2.15.2 Вводим следующие функции:

$$\rho \tau = \frac{353}{273 + T_{kk} \tau} \text{ — плотность продуктов горения, кг/м}^3, \text{ согласно (14);}$$

$$u \tau = \frac{G_{уд}^{max}}{N_{возд} \cdot S_{возд} \cdot \rho \tau} \text{ — скорость движения продуктов горения в воздуховоде, м/с, согласно (15);}$$

$$\alpha \tau = \frac{2,6 \cdot \varepsilon \cdot \rho \tau \cdot u \tau^{0,8}}{D_{\text{экв}}^{0,2}} \text{ — коэффициента теплоотдачи, Вт/(м}^2 \cdot \text{°C), согласно (11);}$$

$$c_p \tau = -3,9 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\text{кк}} \tau^3 + 5,32 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{кк}} \tau^2 + 0,0044 \cdot T_{\text{кк}} \tau + 1006 \text{ — изобарная теплоемкость, Дж/(кг} \cdot \text{°C), согласно (16);}$$

$$\varphi \tau = \lambda \cdot \sqrt{1 + 3,2 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot \tau}{(0,5 \cdot D_{\text{экв}})^2}}} \text{ — вспомогательная функция согласно}$$

Ошибка! Источник ссылки не найден..

В этих зависимостях $T_{\text{кк}} \tau$ определено в п. А.11.2.12; $N_{\text{возд}} = 4$; $S_{\text{возд}} = 8 \text{ м}^2$; $\varepsilon = 2,1$;

$$D_{\text{экв}} = \frac{4 \cdot S_{\text{возд}}}{P_{\text{возд}}} = \frac{4 \cdot 8}{14,5} = 2,2 \text{ м — гидравлический диаметр воздуховода; } \lambda = 2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C);}$$

$$a = \frac{\lambda}{c_{\text{об}} \cdot \rho_{\text{об}}} = \frac{2}{840 \cdot 2000} = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с — коэффициент температуропроводности материала воздуховодов.}$$

А.11.2.15.3 По формуле (9) определяем коэффициент нестационарного теплообмена:

$$K_t \tau = \frac{\varphi \tau}{0,15625 \cdot D_{\text{экв}} \cdot \sqrt{\pi} \cdot \left(\left(\frac{\varphi \tau}{\lambda} \right)^2 - 1 \right) + \frac{\varphi \tau}{\alpha \tau}}$$

Все основные обозначения и построенные функции, используемые в данном уравнении, приведены выше в данном примере.

А.11.2.15.4 В соответствии с зависимостью (8), а также рекомендациями п. 6.2.9 определим температуру от очага пожара $T_{\text{пр}} \tau, x$, °С, учитывающую конвективный теплообмен со стенками наиболее близкого к венткамере воздуховода, по следующей формуле:

$$T_{\text{пр}} \tau, x = T_0 - 273 + T_{\text{кк}} \tau - T_0 + 273 \cdot \exp \left(- \frac{K_t \tau \cdot \pi \cdot D_{\text{экв}}}{G_{\text{уд}}^{\text{max}} \cdot c_p \tau} x \right).$$

На рисунке А.8 изображены зависимости температуры в очаге пожара и на минимальном расстоянии $x = 72 \text{ м}$ одного из воздуховодов до вентустановки. Данные зависимости характеризуют теплообмен без учета охлаждения продуктов горения посредством перемешивания с холодным воздухом.

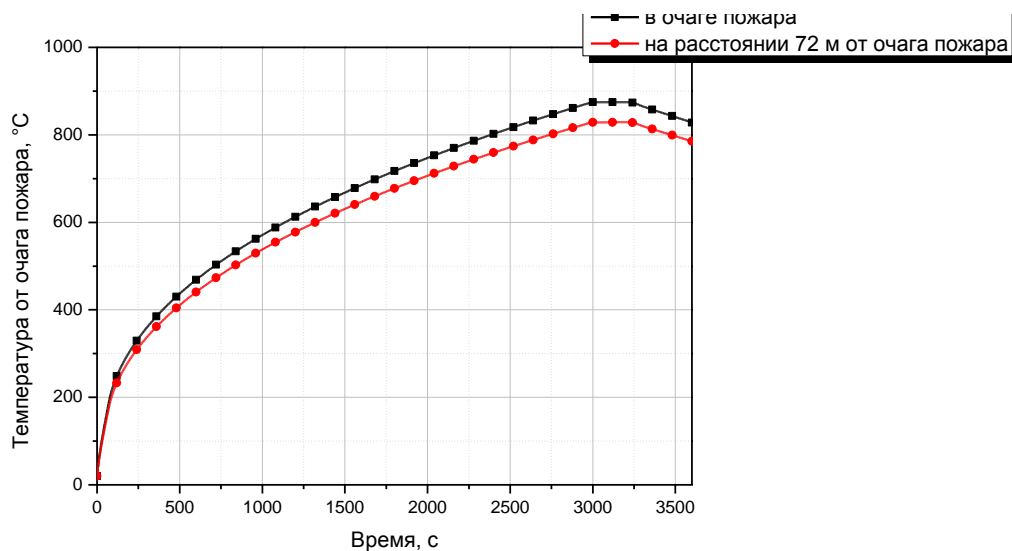


Рисунок А.8 — Зависимость температуры в очаге пожара и на минимальном расстоянии $x = 72 \text{ м}$ одного из воздуховодов до вентустановки от времени

А.11.2.15.5 В соответствии с формулой (23) введем параметр, характеризующий относительный массовый расход продуктов горения и определяющий охлаждение дыма вследствие перемешивания с холодным воздухом:

$$\sigma_{\tau} = \frac{Q_{д\tau} \cdot \rho_{\tau}}{(Q_{д\tau} - Q_{в\tau}) \cdot \rho_{\tau} + G_{\text{с}}}$$

В данной формуле $Q_{д\tau}$ и $Q_{в\tau}$ определены в п. А.11.2.13, ρ_{τ} — в п. А.11.2.15.2, $G_{\text{с}} = 54 \text{ кг/с}$ — суммарный массовый расход воздуха через эскалаторные тоннели.

А.11.2.15.6 Температура смеси продуктов горения и воздуха на входе в стационарную вентиляционную камеру определяет зависимость (21):

$$T_{см\tau, х} = \sigma_{\tau} \cdot T_{гр\tau, х} + \frac{1 - \sigma_{\tau}}{c_{p\tau}} \cdot c_p^{\text{с}} \cdot (T_0 - 273).$$

Рассчитанная по данной формуле зависимость представлена на рисунке А.9.

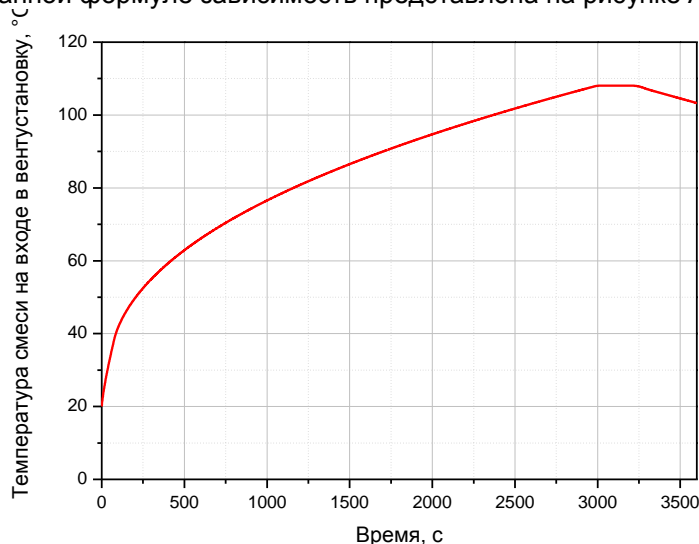


Рисунок А.9 — Зависимость температуры смеси продуктов горения и воздуха на входе в вентустановку в зависимости от времени

А.11.2.15.7 Из рисунка А.9 находим максимальное значение температуры смеси продуктов горения и воздуха на входе в вентустановку $T_{см}^{\text{max}}$, °C:

$$T_{см}^{\text{max}} = 109 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

А.11.2.16 В соответствии с формулой (14) определяем плотность дыма на входе в вентустановку $\rho_{д}$, кг/м^3 , при найденной температуре смеси $T_{см}^{\text{max}}$:

$$\rho_{д} = \frac{353}{273 + T_{см}^{\text{max}}} = \frac{353}{273 + 109} = 0,924 \text{ кг/м}^3.$$

А.11.2.17 Согласно (44) определяем объемный расход вентустановки $Q_{уд}$, $\text{м}^3/\text{с}$, для обеспечения дымоудаления:

$$Q_{уд} = \frac{G_{уд}^{\text{max}}}{\rho_{д}} = \frac{25}{0,924} = 27,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для обеспечения условий эвакуации пассажиров со станции метрополитена необходимо подобрать вентиляционное оборудование с производительностью в режиме дымоудаления не менее $27,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Узлы вентиляционного оборудования, обтекаемые продуктами горения, согласно расчету должны обеспечивать работу вентустановок при температуре не менее $109 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Приложение Б
(рекомендуемое)

**Специальные требования к дымозащите путей эвакуации
из платформенных залов станций метрополитена**

Б.1 Для противодымной защиты станций и прилегающих к ним участков трассы метрополитена следует применять комплекс мер, обеспечивающих защиту:

- а) платформенного зала;
- б) ведущих наружу путей эвакуации;
- в) перегонных тоннелей, в которых возможно нахождение поездов с людьми.

Б.2 Основной задачей тоннельной вентиляции является незадымление тоннелей, системы дымоудаления — незадымление платформенного зала, системы подпора воздуха и противодымных преград — защита от дыма ведущих наружу путей эвакуации.

Б.3 Обязательным условием эффективной работы системы ПДЗ является применение противодымных преград между платформенным залом и лестничными сходами, ведущими в вестибюль или эскалаторный тоннель, с высотой нижней кромки не более 2,5 м.

Приложение В
(рекомендуемое)

Схемы работы системы противодымной защиты станций

В.1 Схема организации системы ПДЗ через пилоны на станции представлена на рисунке В.1.

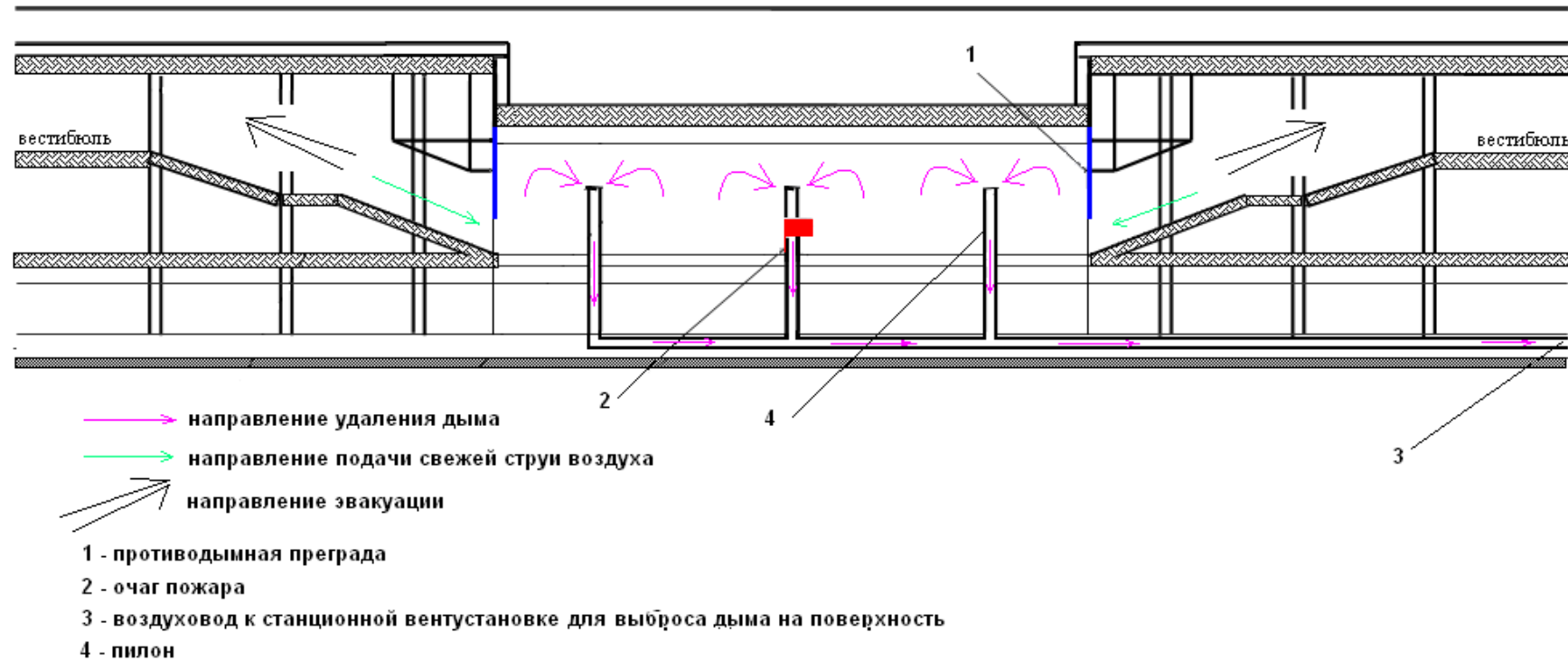


Рисунок В.1 — Схема организации системы ПДЗ через пилоны на станции

В.2 Схема организации системы ПДЗ с помощью установок дымоудаления представлена на рисунке В.2.

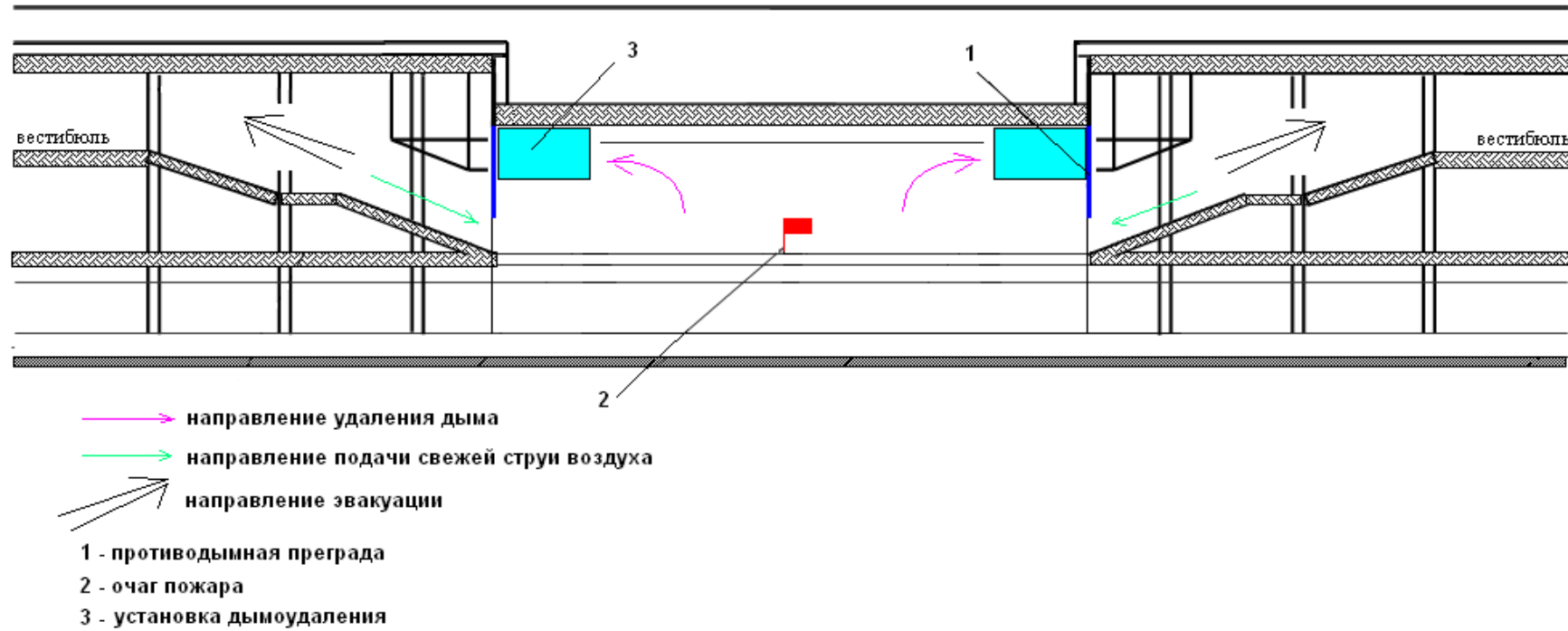


Рисунок В.2 — Схема организации системы ПДЗ с помощью установок дымоудаления

Примечание: На рисунке В.2 установками дымоудаления производится удаление продуктов горения, при этом выброс дыма следует осуществлять по отдельным воздуховодам на поверхность. Представленная схема может быть модифицирована, если в качестве позиции 3 выступает дымоприемное устройство, а выброс дыма по каналу тоннельной вентиляции осуществляется стационарными вентиляционными установками.

Библиография

- [1] Справочник по рудничной вентиляции / под ред. К.З. Ушакова. — М.: Недра, 1977. — 318 с.
- [2] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. — М.: Недра, 1970. — 904 с.
- [3] Рекомендации по определению устойчивости проветривания в наклонных выработок при пожаре. — Донецк: ВНИИГД Минуглепрома СССР, 1977. — 49 с.
- [4] Ильин, В.В. Проблема противопожарной защиты метрополитенов и ее решение / В.В. Ильин, В.П. Беяцкий, А.П. Чуприян. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. — 313 с.
- [5] Потетюев, С.Ю. Определение устойчивости вентиляционных потоков при пожарах в тоннелях метрополитена // Труды научно-практической конференции «Экологическая безопасность — условие процветания и здоровья человечества в XXI веке». — Севастополь. — 2001.
- [6] Потетюев, С.Ю. Особенности определения устойчивости вентиляционного потока при пожарах в тоннелях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. — Спец. выпуск. — Харьков: ХИПБ, 2000. — С.32—35.
- [7] Матус, П.П. Разработать методику расчетов систем тоннельной вентиляции метрополитена в режиме дымоудаления [Отчет о НИР № ГР 2007867] / П.П. Матус, Ф.М. Гриб, А.И. Шнип, М.М. Чуйко, В.А. Ирхин, А.Г. Яцукович, А.М. Протас, Д.Н. Арестович, Д.М. Сороко ; НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси. — Мн., 2009. — 73 с. : 33 рис., 8 табл. — Рус. — Деп. в ГУ «БелИСА» 23.02.2009 г., № Д20096.
- [8] Зедгенизов, Д.В. Исследование динамики нагрева тоннельного воздуха при горении поезда в тоннеле метрополитена / Д.В. Зедгенизов, И.В. Лугин // Безопасность жизнедеятельности. — 2003. — №8. — С.48—51.
- [9] Беяцкий, В.П. Расчет системы тоннельной вентиляции для дымоудаления при пожаре на станциях / В.П. Беяцкий, С.Г. Ефимов // Борьба с пожарами в метрополитенах: сб. науч. тр. — М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. — С.31—41.