

## ЗАДАЧИ АЭРОДИНАМИКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Анализ аварийных режимов работы систем тоннельной вентиляции, применяемых в метрополитенах, показал, что они не обеспечивают устойчивое движение газоздушных потоков при пожаре в подвижном составе и его остановке в тоннеле, а также отсутствует методическое обеспечение расчетов устойчивости газоздушных потоков при пожарах в тоннелях. Существующая технология оценки устойчивости вентиляционных потоков, применяемая на угольных шахтах и в автодорожных тоннелях, не позволяет учесть особенности пожаров в метрополитенах.

*Ключевые слова:* метрополитен, пожаробезопасность, аварийные режимы работы систем тоннельной вентиляции, задачи аэродинамики, устойчивое движение газоздушных потоков

### Введение

Анализ особенностей пожаров и аварийных режимов вентиляции в метрополитене показывает, что при возникновении пожара в метрополитене основную опасность представляют опасные факторы пожара (ОФП), воздействие которых может полностью или частично блокировать пути эвакуации пассажиров, к тому же, затрудняют работу пожарных подразделений по спасению пассажиров и тушению пожара. Поиск новых путей решения, связанных с локализацией и тушением пожара, а также создание незадымляемой зоной на пути эвакуации пассажиров и в местах, где предполагается работа пожарных подразделений является актуальной задачей [1].

*Целью данной статьи* является анализ имеющихся в литературе результатов исследований по вопросам пожаробезопасности метрополитена и формулировка на основе проведенного анализа основных задач по выработке рациональных мероприятий по борьбе с чрезвычайными ситуациями и обеспечению безопасности людей при возникновении пожара в метрополитене.

### Изложение основного материала

Одним из основных элементов пожарной безопасности метрополитенов является обеспечение безопасности людей. Их спасение и успешная ликвидация пожаров во многом зависят от правильного выбора и своевременного применения аварийного режима вентиляции. При пожаре в тоннеле или на станции метрополитена существует возможность быстрого распространения продуктов горения и возникновение угрозы для жизни сразу нескольких тысяч людей. В этой связи особого внимания заслуживают наиболее опасные ситуации, когда поезд с

горящим вагоном останавливается в тоннеле и необходимо решать задачи, связанные с обеспечением безопасной эвакуации пассажиров.

Распространение ОФП по тоннелю происходит за очень короткое время – вследствие движения вентиляционных потоков. Для того чтоб создать более комфортные условия для работы пожарных подразделений, обеспечить безопасность эвакуирующимся пассажирам необходимо повысить эффективность аварийных режимов, а этого можно добиться путем применения вентиляционных перемычек. Перемычка диаметром 6м пригодна для перекрытия тоннелей метрополитена. Эксплуатационные параметры: время установки – 2...3 мин., минимальная скорость движения воздуха, при которой перемычка функционирует – 0,5 м/с, вес – 20 кг. Однако, для того чтобы парашютная перемычка перекрыла сечение, необходимо, чтобы сила, действующая на нее, превосходила собственный вес в 1,5...2 раза [2]. Следовательно, в перегонных тоннелях метрополитена, ее можно применять, где скорость движения воздуха составляет 2,5...3,0 м/с. В качестве пассивного способа регулирования воздушных потоков представляют собой воздушные завесы, создаваемые вентиляторами.

Одним из основных элементов обеспечения пожарной безопасности подземных сооружений является система дымоудаления. Главным показателем ее работы при пожарах является обеспечение свежего воздуха на маршрутах эвакуации пассажиров, маршрутах движения пожарных подразделений и подразделений Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС). Это в полной мере относится ко всем тоннелям, включая и тоннели метрополитенов [3].

В большинстве метрополитенов используется реверсивная система вентиляции. Она составляет основу системы тоннельной вентиля-

ции метрополитенов, на которую возложены функции удаления дыма и нагретых пожарных газов. В настоящее время выбор режимов работы вентиляторов при пожарах в метрополитенах Украины регламентирует инструкция 4095 [4]. В ней предусматриваются различные варианты включения вентиляторов, в зависимости от места возникновения пожара.

Основным этапом выбора аварийного режима проветривания пожарного объекта является оценка величины тепловой депрессии пожара [2]. Тепловая депрессия пожара рассматривается как приращение статического давления вдоль выработки за счет уменьшения плотности (веса) воздуха в результате его нагревания. Эта депрессия воздействует на объем газоздушного потока в целом, и рассматривается как дополнительный источник тяги от нижнего конца выработки к верхнему (по высотным отметкам). Оценка устойчивости проветривания тоннелей метрополитена при пожарах сводится к определению критических параметров тоннелей в аварийных режимах работы системы тоннельной вентиляции и сопоставлении их величин с расчетными величинами тепловой депрессии пожара.

При возникновении пожара на станции основной опасностью является поступление продуктов горения в эскалаторные ходки, переходы и вестибюли. При этом продукты горения могут полностью или частично блокировать пути эвакуации пассажиров, в то же время, затрудняя доступ на станцию пожарным подразделениям. Частичное решение этой задачи обеспечивается на станциях, у входов на эскалаторы, установкой противодымных барьеров. В этой связи, достаточно актуальным является решение задачи по обеспечению устойчивого нисходящего движения потока воздуха по эскалаторным ходкам. Этот вопрос представляет собой интерес не только с точки зрения обеспечения безопасной эвакуации пассажиров, но и с точки зрения эффективности ликвидации пожаров, так как быстрое начало тушения уменьшает материальные затраты на тушение и убытки метрополитена.

В нормальных условиях, нисходящее движение воздуха по эскалаторному ходу должно обеспечиваться работой системы тоннельной вентиляции «на вытяжку», когда вентиляторы, расположенные у станций и на ближайшем перегоне забирают воздух из тоннелей и «выдают» его на поверхность. Однако такой режим проветривания ходка эскалатора не всегда возможен, прежде всего, из-за наличия естествен-

ной тяги, которая формируется за счет разности температур, в вентиляционном контуре, включающем эскалаторные ходки и вентиляционные шахты. Эта тяга возникает из-за разности высотных отметок тоннелей и поверхности земли. Разница высотных отметок определяет глубину заложения станции. Таким образом, нисходящему движению воздуха по эскалаторному ходу препятствует действие естественной тяги. В теплое время года температура воздуха, поступающего с поверхности, как правило, выше, чем в вентиляционной шахте, а зимой для этой цели воздух нагревают калориферные установки. В нормальных условиях работы метрополитена направлению движения в эскалаторных ходках, как правило, не придают большого значения. Тем более что под действием поршневого эффекта движущихся поездов оно может изменяться. При возникновении пожара на станции, при остановке поездов, при восходящем движении воздуха в эскалаторных ходках, существует угроза поступления в него нагретых продуктов горения и возникновения тепловой депрессии. На станциях глубокого заложения это практически невозможно.

Вышеприведенное показывает, что задача обеспечения устойчивого нисходящего движения воздуха по эскалаторным ходкам, сводится к тому, чтобы, с одной стороны предупредить быстрое поступление нагретых продуктов горения в эти ходки, а с другой стороны, обеспечить оперативный перевод в режим «вытяжки». Количество вентиляторов, необходимых для преодоления действия естественной тяги и обеспечения нисходящего движения воздуха в эскалаторных ходках, для каждой станции лучше всего определять экспериментально. Однако точные расчеты здесь затруднены из-за отсутствия информации о высотных отметках, но даже приблизительные оценки показывают, что в вентиляционных контурах с двухступенчатыми эскалаторными ходками естественная тяга, для холодного времени года, может составить 50 Па и более. Преодолеть противодействие такой естественной тяги только за счет работы системы тоннельной вентиляции, очень сложно. Интересным решением является использование подвижного состава в качестве своеобразных регуляторов, повышающих влияние вентиляторов на режим проветривания эскалаторных ходков.

Исследованиям вопросов дымоудаления и работы системы тоннельной вентиляции метрополитенов посвящены работы Цодикова В. Я. [5, 6], Беляцкого В. П., Виноградова Ю. И.,

Бондарева В. Ф., Рыжова А. М., Махина В. С. и др. [2]. Вместе с тем, необходимо отметить, что рассматривая вопросы дымоудаления в комплексе с вопросами устойчивости газоздушных потоков в тоннелях метрополитена, авторы работы [2] ориентируются на методики, разработанные для угольной отрасли. Все элементы (этапы) технологии выбора и оценки эффективности аварийных вентиляционных режимов, разработанные для угольной отрасли, почти в полной мере, применимы для метрополитенов. Однако, основная сложность состоит в отсутствии методического обеспечения применения этой технологии для метрополитенов.

Здесь нельзя провести аналогию и с автодорожными тоннелями.

Многие работники метрополитенов, пожарных служб и ученые вообще придерживаются того мнения, что:

- в системах метрополитенов или вовсе нет независимой системы воздушных потоков, или
- система потоков полностью обуславливается характеристиками ветра в наружной зоне у порталов тоннелей или
- движение воздуха «в глубине тоннеля» управляется только движением поездов.

Эти допущения оказались неверными. Если оценка распространения вредных веществ в простых транспортных тоннелях может быть произведена относительно легко, то этого нельзя утверждать в отношении тоннельных сооружений метрополитенов. Железнодорожные или автодорожные тоннели из одной или двух труб, как правило, имеют мало поперечных соединений, а оба противоположных портала являются главными отверстиями. Метрополитен, напротив, представляет собой сложную сетевую систему с многочисленными вертикальными и горизонтальными поперечными соединениями. Система воздушных потоков в такой сети тоннелей и станций, в отличие от простых тоннелей с их двумя возможными направлениями воздушных потоков, имеет большую возможность варьирования; это влияет и на определение возможных путей проведения спасательных работ и на направление вывода людей из опасного пространства. В случае пожара или террористического акта состояние этой системы потоков оказывает существенное влияние на распространение дыма, химических и биологических веществ внутри системы метрополитена и в прилегающих к ней зон на поверхности земли. То обстоятельство, что распространение дыма и других ядовитых веществ зависит только от характеристик рассматриваемых потоков,

то есть от воздухообмена между станцией и тоннелем, а также между метрополитеном и внешней атмосферой указывает на необходимость увеличения исследований в этой области с целью предотвращения катастроф или обеспечения эффективного устранения их последствий.

Следует констатировать и тот факт, что обзор зарубежных исследований в области распространения воздушных потоков в подземных сооружениях метрополитена [7] показывает, что в отношении динамики воздушных потоков в подземных тоннельных системах речь идет о чрезвычайно сложной структуре, обуславливаемой воздействиями многочисленных факторов. В ходе выполненных до сих пор исследований было установлено, что речь может идти не о простом, непрерывном, равномерно сформированном движении воздуха, а о системе потоков высокой сложности, отличающихся чрезвычайно разнообразным варьированием в пространстве и времени. А также было доказано наличие в тоннелях основного и фонового воздушных потоков, не зависящих от движения поездов и работы вентиляционных устройств. Поэтому необходимо проведение ряда научных исследований.

Следует указать и на то, что каждая система метрополитена из-за строительных, геологических и других особенностей имеет свою собственную динамику воздушных потоков, которая должна специально изучаться для выбора оптимальных действий при чрезвычайных ситуациях.

## Выводы

Для выработки рациональных мероприятий по борьбе с чрезвычайными ситуациями в метрополитене необходимо решить следующие задачи:

1. Провести теоретические исследования особенностей теплопереноса при пожаре в тоннеле метрополитена и разработать методику расчета тепловых факторов пожара.
2. Исследовать особенности определения критических параметров газоздушных потоков в тоннелях метрополитена и разработать методику их расчета.
3. Исследовать особенности вентиляционной сети линии и разработать для нее схемы вентиляции и вентиляционных соединений.
4. Определить аэродинамические параметры вентиляционной сети линии метрополитена.

5. Исследовать особенности формирования аварийных вентиляционных режимов в условиях линии метрополитена.

6. Разработать методику оценки устойчивости вентиляционных потоков при пожаре в вагоне и остановки поезда в тоннеле метрополитена.

7. Разработать математические модели и исследовать аварийные ситуации с целью выработки рациональных мероприятий по борьбе с чрезвычайными ситуациями в метрополитене (локализация пожара, борьба с распространением ядовитых газов и т.д.).

8. Разработать программное обеспечение (информационную систему) для ускорения ввода в действие аварийной вентиляции метрополитена.

9. Разработать аварийные режимы работы тоннельной вентиляции для линии метрополитена.

10. Введение аварийного режима должно сопровождаться выполнением ряда организационно-технических решений:

- дополнительно повысить эффективность аварийных режимов можно путем применения вентиляционных перемычек, устанавливаемых пожарными после возникновения пожара;

- целесообразна установка воздушных завес, создаваемых вентилятором со щелевым раздаточным устройством;

- для предупреждения поступления нагретых продуктов горения в эскалаторные ходки на станциях глубокого заложения необходимо оборудовать противодымные барьеры входов на эскалаторы и включить на вытяжку ближайшие к станции вентиляторные установки;

- в тех случаях, когда работа вентиляторных установок метрополитена не обеспечивает ус-

тойчивое нисходящее движение воздуха по эскалаторным ходкам, для повышения устойчивости следует предусматривать использование пустых составов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косар, А. М. Розробка метода і технічних засобів забезпечення безпеки людей при пожежах у метрополітені [Текст] / А. М. Косар. – Макіївка, 2002. – 28 с.
2. Розробити аварійні режими вентиляції Салтівської лінії Харківського метрополітену на випадок пожеж та інформаційне забезпечення задіяння аварійної вентиляції [Текст] : отчет о НИР / НИИГД, Донецк, 2001. – 535 с.
3. Власов, С. Н. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов [Текст] / С. Н. Власов, Л. В. Маковский, В. Е. Меркин. – М.: ТИМР, 1997. – 183 с.
4. СНиП II-40-80. Метрополитены [Текст]. Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1981. – № 2. – С. 71–73.
5. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов [Текст] / В. Я. Цодиков. – М.: Недра, 1975. – 313 с.
6. Цодиков, В. Я. Взаимодействие системы тоннельной вентиляции и поршневого эффекта движущихся в метрополитене поездов [Текст] / В. Я. Цодиков // Транспортное строительство. – 1974. – № 5. – С. 47–49.
7. Андросюк, В. Н. Система воздушных потоков в метрополитенах, ее роль в предупреждении и ликвидации последствий катастроф [Текст] / В. Н. Андросюк // Сб. обзорной информации «Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях». – М., 2002. – Вып. № 5. – С. 84–89.

Поступила в редколлегию 24.11.2011.

Принята к печати 07.12.2011.

С. А. ГРЯЗНОВА, Н. В. ХВОРОСТ

## ЗАДАЧІ АЕРОДИНАМІКИ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖОБЕЗПЕКИ МЕТРОПОЛІТЕНА

Аналіз аварійних режимів роботи систем тунельної вентиляції, що застосовуються в метрополітенах показав, що вони не забезпечують сталий рух газоповітряних потоків при пожежі в рухомому складі та його зупинці в тунелі, а також відсутнє методичне забезпечення розрахунків стійкості газоповітряних потоків при пожежах в тунелях. Існуюча технологія оцінки стійкості вентиляційних потоків, що застосовується на вугільних шахтах і в автодорожніх тунелях не дозволяє врахувати особливості пожеж в метрополітенах.

*Ключові слова:* метрополітен, пожежна безпека, аварійні режими роботи систем тунельної вентиляції, задачі аеродинаміки, сталий рух газоповітряних потоків

## **AERODYNAMIC PROBLEMS ON PROVIDING FIRE SAFETY IN SUBWAY**

Analysis of the emergency operation modes of tunnel ventilation systems used in subways has shown that these modes do not provide the steady gas-air flows in case of fire in the rolling stock and its stop in the tunnel; and there is no methodological support for calculations of stability of gas-air flows in tunnel fires. The existing technology for assessing the stability of ventilation flows applied in coal mines and road tunnels can not account for the peculiarities of fires in subways.

*Keywords:* subway, fire safety, emergency operation modes of tunnel ventilation systems, aerodynamic problems, steady motion of gas-air flows