Б.Б. Серков, Н.Д. Солнцев
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: solntsev_n@mail.ru)

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ВОЗДУХОВОДОВ СИСТЕМ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Разработана методика расчёта огнестойкости и параметров огнезащиты воздуховодов систем противодымной защиты транспортных тоннелей.
Ключевые слова: пожарная безопасность, транспортный тоннель, огнестойкость, огнезащита, элементы конструкций воздуховодов, противодымная защита.

B.B. Serkov, N.D. Solntsev

FIRE RESISTANCE OF DUCT IN SMOKE PROTECTION SYSTEMS IN TRANSPORT TUNNELS

A new method has been worked out to calculate the fireproof parameters and the dimensions of the fire curtain in air outlets of smoke control systems that are installed in transport tunnels.
Key words: fire safety, transport tunnel, fire resistance, fire protection, construction elements duct, smoke protection.

В последнее десятилетие из-за быстрого роста автотранспортного парка крупных городов строительство объектов транспортного назначения приобрело масштабный характер. К таким объектам относятся и тоннели.

Система противодымной защиты является одной из систем, играющих ключевую роль в противопожарной защите подземного сооружения. Она предназначена для исключения заполнения образующимися при пожаре продуктами горения (дымом, токсичными газовоздушными смесями) жизненно важных зон: путей эвакуации; мест спасения людей; помещений, требующих постоянного присутствия персонала; мест проведения боевой работы специальных подразделений по ликвидации чрезвычайной ситуации. Надёжное функционирование этой системы при пожаре особенно важно в крупных со сложной планировкой подземных сооружениях и тоннелях.

Одним из основных элементов системы противодымной защиты является разветвленная сеть воздуховодов с нормируемыми пределами огнестойкости.

Условия работы воздуховодов системы дымоудаления принципиально отличаются от условий их огневых испытаний по методике нормативных документов, действующих на территории России (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53299-2009), прежде всего наличием интенсивного внутреннего нагрева стенки дымовыми газами, текущими внутри воздуховода. Поэтому непосредственный перенос результатов сертификационных (нормативных) испытаний воздуховодов на натуру невозможен.

Из изложенного со всей очевидностью следует важность и необходимость разработанной с этой целью коллективом авторов методики расчёта огнестойкости и требуемых толщин огнезащиты воздуховодов противодымной защиты, позволяющей учитывать отличия условий сертификационных испытаний от условий их работы при вероятном пожаре в подземном сооружении.

Расчёт толщины огнезащиты выбранного варианта, необходимой для обеспечения требуемого (нормируемого) предела огнестойкости каждого конкретного воздуховода, производится из условия:

$$P_{ф} \geq P_{тр},$$

где $P_{ф}$ – фактический предел огнестойкости воздуховода с огнезащитой;

$P_{тр}$ – требуемое (нормативное) значение предела огнестойкости.

Дополнительно к признакам предельных состояний воздуховодов при пожаре, сформулированным в действующих нормативных документах РФ по пожарной безопасности, применительно к воздуховодам системы дымоудаления тоннельных сооружений, были введены следующие признаки, которые позволяют конкретизировать и формализовать их с целью использования в разработанной математической модели тепломассопереноса и напряженно деформированного состояния воздуховодов.

Предельными состояниями воздуховода ***прямоугольного сечения*** на участках, нагруженных ***внешним давлением***, являются:

а) потеря прочности – превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре;

б) потеря жёсткости – превышение максимальным относительным прогибом стенки[1] предельного значения, равного 0,05;

в) уменьшение площади проходного сечения воздуховода вследствие прогиба его стенок до предельного значения

$$(F_{д.деф} - F_{п.деф}) / F_{п.деф} = 0{,}05,$$

где $F_{д.деф}$, $F_{п.деф}$ – значения площади проходного сечения воздуховода до и после деформации.

Предельными состояниями воздуховода прямоугольного сечения ***на участках, нагруженных внутренним давлением***, являются:

а) потеря прочности – превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре;

б) потеря жёсткости – превышение максимальным относительным прогибом стенки предельного значения, равного 0,05.

[1] Относительный прогиб стенки воздуховода равен отношению прогиба к ширине стенки

Предельными состояниями воздуховода ***круглого сечения*** на участках (секциях), нагруженных ***внешним давлением***, являются:

а) потеря прочности – превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре;

б) потеря устойчивости – резкое изменение формы при превышении действующей нагрузкой критического уровня, соответствующего данной температуре.

Предельным состоянием воздуховода ***круглого сечения*** на участках (секциях), нагруженных ***внутренним давлением***, является потеря прочности – превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре.

Требуемые толщины выбранного средства огнезащиты воздуховода в общем случае определяются взаимосвязанными ***теплотехническим и статическим расчётами*** с использованием условия $P_{\text{ф}} \geq P_{\text{тр}}$.

В результате проведения теплотехнического расчёта находятся текущие распределения по длине воздуховода температуры дымовых газов, движущихся внутри него, и температурное поле в стенке воздуховода.

В результате проведения статического расчёта определяются перемещения стенок воздуховода и действующие в них напряжения в зависимости от времени.

При использовании для определения предела огнестойкости металлических воздуховодов понятия "критическая температура" металла, толщина выбранного средства огнезащиты определяется ***теплотехническим расчётом*** из условия непревышения температурой стенки воздуховода критического значения в конце огневого воздействия в течение времени, равного требуемому пределу огнестойкости:

$$P_{\text{ф}} \geq P_{тр}.$$

Критическая температура металла рассматриваемого воздуховода определяется по признакам предельных состояний, сформулированным ранее, ***статическим расчётом*** при допущении о равномерном распределении в каждый момент времени температуры по толщине стенки воздуховода.

Канал дымоудаления в общем случае может состоять из участков, представляющих собой стальные воздуховоды, которые проходят как через аварийное помещение, заполненное высокотемпературной газовой средой, так и через смежные помещения, заполненные воздухом. Он может также прокладываться внутри железобетонных строительных конструкций. Кроме того, на практике встречаются случаи, когда две или три стенки канала выполнены из стали, а остальными его стенками являются железобетонные строительные конструкции. И, наконец, возможны случаи, когда между стальной стенкой канала дымоудаления и железобетонной стеной находится воздушная прослойка.

На наружную поверхность участка воздуховода, расположенного внутри аварийного условного пожарного отсека тоннеля, действует газовая среда, имеющая температуру $T_f(t)$. Теплота от газовой среды к наружной поверхности стенок этой части воздуховода передается конвекцией и излучением. Газовая среда является оптически плотной средой.

Обобщённая схема характера движения дымовых газов и теплопередачи в системе противодымной защиты представлена на рис. 1. Можно видеть, что газовая среда аварийного помещения (горящего объёма тоннеля), имеющая температуру T_f, поступает во внутреннюю полость воздуховода дымоудаления через клапаны дымоудаления (3). При этом её температура несколько понижается.

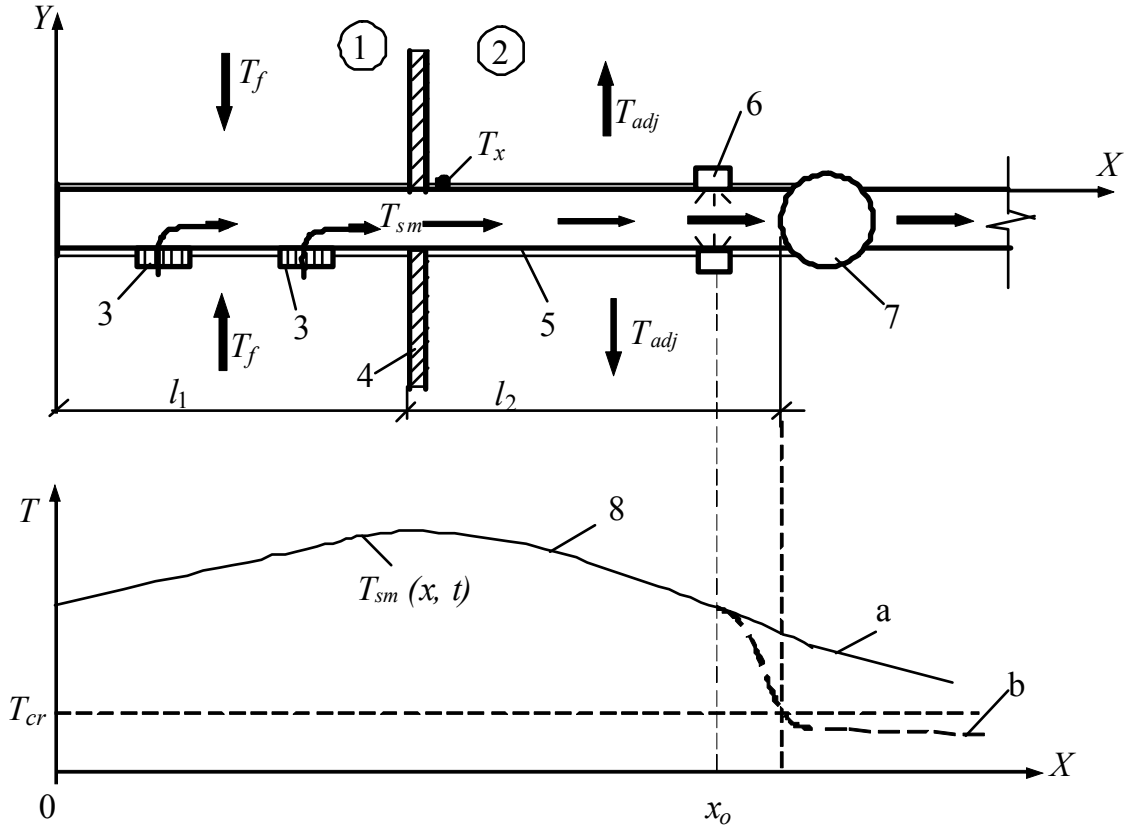

Рис. 1. Обобщенная схема характера газообмена и теплопередачи в системе противодымной защиты:
1 – аварийное помещение, заполненное газовой средой с температурой $T_f(x,t)$;
2 – смежное помещение, заполненное газовой средой (воздухом) с температурой T_{adj};
3 – клапан дымоудаления; 4 – стена (перегородка); 5 – канал дымоудаления, проложенный в воздуховодах с огнезащитой, железобетонных строительных конструкциях и т.п.; 6 – устройство для подачи распылённого охладителя во внутреннюю полость воздуховода (спринклеры или дренчеры); 7 – вентилятор противодымной вентиляции; 8 – характер изменения температуры дымовых газов по длине канала дымоудаления при отсутствии (*a*) и при наличии (*b*) подачи охладителя в его внутреннюю полость; T_{sm} – температура дымовых газов; T_{cr} – критическая температура работы вентилятора (определяется пределом его огнестойкости); T_x – температура наружной поверхности воздуховода в смежном помещении; l_1 – длина обогрваемого участка воздуховода; l_2 – длина необогреваемого участка (расстояние от входа в вентиляционную камеру до вентилятора)

Дымовые газы движутся внутри канала дымоудаления (5) в сторону вентилятора (7), обмениваясь теплотой с его стенками. Направление теплового потока через стенку зависит от соотношения температур внутреннего и наружного газов. Так на участке, расположенном в смежном помещении (2), тепловой поток направлен наружу, вследствие чего дымовые газы охлаждаются. Причем, интенсивность их охлаждения зависит от теплоизолирующей способности стенки воздуховода (в частности, от толщины слоя огнезащитного покрытия), а степень охлаждения на участке от входа в помещение (2) до вентилятора – от его длины (l_2).

Требуемая толщина огнезащиты воздуховода на участке длиной l_2 определяется из условия повышения температуры его наружной поверхности за время, равное требуемому пределу огнестойкости системы противодымной защиты. Следовательно, чем больше температура дымовых газов на входе в помещение (2), тем больше толщина огнезащиты и тем меньше охлаждаются дымовые газы на участке длиной l_2. Длина этого участка определяется в основном объёмно-планировочными решениями конкретного сооружения, и возможность её произвольного изменения крайне ограничена.

Таким образом, принципиально возможны случаи, когда температура дымовых газов на входе в вентилятор превышает критическое значение. В этих случаях возникает необходимость в активной теплозащите вентилятора дымоудаления.

Для математического описания процессов тепломассопереноса в рассматриваемой системе в общем случае может быть использована известная система дифференциальных уравнений: неразрывности, движения газовой среды, диффузии компонентов газовой смеси, заполняющей внутреннюю полость канала дымоудаления (воздуховодов) и аварийного помещения, сохранения энергии и нестационарной теплопроводности в стенках канала (воздуховодов) и ограждающих конструкциях. Для замыкания этой системы к ней необходимо добавлять соответствующие условия однозначности, уравнения для параметров турбулентного переноса (модель турбулентности) и интегрально-дифференциальные уравнения лучистого переноса в газовой среде.

В частности нами было получены:

- алгоритм решения сопряжённой задачи расчёта мгновенных распределений температуры дымовых газов по длине канала дымоудаления и нестационарных температурных полей в его стенках;
- численное решение уравнений сохранения энергии и массы дымовых газов, движущихся внутри воздуховода дымоудаления при пожаре в сооружениях тоннельного типа (в одномерном приближении);
- приближенное аналитическое решение интегральным методом задачи о нестационарной теплопередаче от дымовых газов к строительным конструкциям сооружения через стальную стенку воздуховода и воздушную прослойку.

Литература

1. ***Пожарная*** опасность городских автотранспортных тоннелей и комплексная система их противопожарной защиты / Давыдкин Н.Ф., Страхов В.Л., Мешалкин Е.А., Солнцев Н.Д. // Подземное пространство мира. М.:ТИМР, 2003. № 5. С. 43-47.

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

3. ***Расчёт*** огнестойкости воздухо- и газоводов с композиционным теплоогнезащитным покрытием / Страхов В.Л., Давыдкин Н.Ф., Гаращенко А.Н., Крутов А.М., Рудзинский В.П., Девлишев П.П. // Пожаровзрывобезопасность, 1998, № 4. С. 53-64.

4. ***Расчёт*** огнезащиты венткороба дымоудаления Лефортовского тоннеля глубокого заложения / Давыдкин Н.Ф., Страхов В.Л., Каледин В.О., Солнцев Н.Д. // Подземное пространство мира. М.: ТИМР. 2004. № 1. С. 40-45.

5. ***Солнцев Н.Д.*** Расчёт пределов огнестойкости и требуемых толщин огнезащиты покрытий воздуховодов системы дымоудаления тоннелей // Матер. 14-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2005". М.: Академия ГПС МЧС России. 2005. С. 216-220.

6. ***ГОСТ*** Р 53299-2009. Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. М.: ВНИИПО МЧС России, 2009. 15 с.

Статья опубликована 14 декабря 2012 г.