

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (05.26.02, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 614.849

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.29.65.007

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ В МЕТРОПОЛИТЕНЕ

*Калач А.В.¹, д.х.н., профессор; Агеев П.М.², к.т.н., старший научный сотрудник;
Сысоева Т.П.², к.т.н., научный сотрудник; Шимон Н.С.^{1,3}, к.т.н.*

¹ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет

²ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

³КУВО «Гражданская оборона, защита населения и пожарная безопасность Воронежской области»

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности пассажироперевозок в метрополитенах России. Приведены описание и анализ результатов натурных экспериментов на крупномасштабных макетах подвижного состава метрополитенов при пожаре в тоннеле. Исследован процесс распространения пожара в салоне вагона и по подвижному составу. Проведен анализ и обобщение результатов натурных испытаний распространения опасных факторов пожара по путям эвакуации в тоннеле при очаге пожара в кабине машиниста и подвагонном оборудовании. По результатам исследования сформулированы основные выводы по распространению опасных факторов пожара.

Ключевые слова: пожар, метрополитен, управление, опасные факторы пожара

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PASSENGER TRANSPORT SAFETY MANAGEMENT BY ROLLING STOCK IN THE METRO

*Kalach A.V.¹, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Chemical Sciences, Full Professor;
Ageev P.M.², Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Research Officer; Sysoeva T.P.²,
Ph.D. of Engineering Sciences, Research Officer; Shimon N.S.^{1,3}, Ph.D. of Engineering Sciences*

¹Voronezh State Technical University

²Saint Petersburg state University of emergencies of Russia

³KUVO "Civil defense, population protection and fire safety of the Voronezh region"

Annotation. The article deals with the issues of ensuring the safety of passenger transportation in the Russian subways. The article describes and analyzes the results of field experiments on large-scale models of metro rolling stock in the event of a fire in a tunnel. The process of fire propagation in the car interior and on the rolling stock investigated. The analysis and generalization of the results of field tests of the spread of fire hazards along the escape routes in the tunnel at the source of the fire in the driver's cab and undercar equipment carried out. Based on the results of the study, the main conclusions on the spread of fire hazards formulated.

Keywords: fire, metro, management, fire hazards

Современное экономическое процветание России неразрывно связано с совершенствованием транспортной инфраструктуры. В транспортной системе нашей страны одно из особых ведущих мест занимает метрополитен. Ведь именно благодаря метрополитену, население крупных городов может снизить время передвижения по городу. Тот факт, что миллионы людей ежедневно пользуются метро, ставит и задачи по его безопасности, поднимает определенные вопросы и проблемы, требующие постоянного контроля и решения во избежание человеческих жертв и ущерба экономике страны.

Пожары, как наиболее распространённый вид техногенной чрезвычайной ситуации моментально распространяясь и могут причинять значительный вред здоровью людей и ущерб экономике. К сожалению, в метрополитенах они носят регулярный характер. В мировой истории известны случаи, когда при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами в метро, удавалось минимизировать или вообще предотвратить человеческие жертвы. Но чаще подобные происшествия отличаются тяжёлыми последствиями. А причиной этому служат недостаточная техническая оснащённость метрополитена, нарушения организационного порядка, неподготовленность персонала метрополитена к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций.

При этом, следует учитывать возникновение опасных факторов пожара (ОФП), воздействующих на людей и имущество [1, 2]. Критическая продолжительность пожара является одним из основных показателей при оценке динамики и опасности инцидента. Принято принимать данное значение по времени достижения одним из ОФП своего предельного значения. Критическая продолжительность пожара определяется многими факторами, которые воздействуют на человека и не зависят друг от друга.

Наиболее крупные пожары в метрополитенах всего мира подвергались тщательному анализу специалистов-исследователей, что привело к пересмотру нынешних мер пожаробезопасности и разработке новых требований. По итогам проведения многочисленных исследований стало понятно, что наиболее часто пожары в метрополитене возникали из-за проблем и неисправностей электропроводки [3].

В метрополитенах России распространены вагоны, которые отделаны различными видами пластика. Данный аспект необходимо всесторонне изучить для определения направлений дальнейших разработок по повышению безопасности. Также в расчетах следует учитывать возникновение пожара и его последующее развитие в туннеле за счет системы вентиляции. Как правило в туннелях используют продольную систему вентиляции (дым с места пожара перемещается вдоль всего туннеля).

Процесс распространения пожара по подвижному составу в метрополитене и условия формирования ОФП на путях эвакуации являются объектами исследования в ходе экспериментов методами моделирования [4, 5]. Модели эвакуации используются для изучения условий в инженерных системах пожарной безопасности различных объектов. Вопросы моделирования работы транспортных систем представляют особую актуальность в сфере решения вопросов пожарной безопасности объектов защиты.

С целью моделирования процессов горения был разработан программный комплекс FDS. При моделировании процессов пожаров в вагонах метрополитена в подвижном составе проводилась оценка пожаробезопасности, определялся сценарий развития пожара в вагоне. По данному сценарию проводились расчеты условий, при которых людей эвакуировали максимально безопасно.

В ходе выполненных экспериментов установлены следующие временные этапы развития пожара:

- в течение двух минут дым проникает в салон через двери;
- в течение последующих 15 минут происходит усиленное дымовыделение в салоне;
- на 26 минуте пламя появляется в салоне под потолком;
- на 28 минуте происходит разрушение лобового окна кабины;
- на 31 минуте падение зашивки потолка в салоне.

В изучении явления пожарогорения также проводились эксперименты с постоянным изменением условий для определения критического значения температуры. Например, в одном из экспериментов исследователи использовали для зажигания килограмм ветоши, смоченной 0,5 л керосина [6-9]. Вентиляционная установка создавала воздушный поток определенного значения. В данном эксперименте было проведено четыре опыта. В каждом опыте пожарная нагрузка различалась. В отличии от ранее проводимых экспери-

ментов, в данном исследовании была установлена противопожарная преграда, снижающая распространение ОФП в вагон.

В ходе работ не удалось достичь критического значения температуры. За это значение принималось значение, равное 70 °С [2, 10]. Было отмечено лишь незначительное превышение температуры 60 °С.

При проведении опытов производилась оценка и анализ динамики нарастания концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения на путях эвакуации, а именно: Монооксида углерода (СО), Синильная (цианистоводородной) кислоты (HCN), хлороводорода (HCl).

Были зафиксированы значения концентрации монооксида углерода (СО), превышающие значения аварийной предельно допустимой концентрации (ПДК). При этом под аварийной ПДК для СО принималось то ее значение, при котором человек может выйти из опасной зоны и принять участие в ликвидации аварии [11 - 13].

Установлено, что значение концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения в первые десять минут, по показателю HCN в атмосфере салона аварийного вагона составило: 33,0 мг×м⁻³, HCl - 33,0 мг×м⁻³, при этом данные значения в тоннеле составили: HCN - 28,0 мг×м⁻³ и HCl - 35,0 мг×м⁻³. Приведенные значения свидетельствуют о высокой вероятности опасного воздействия токсичных продуктов горения и термического разложения на людей.

Во время проведения исследований также было отмечено, что содержание HCl строго определено [2], но фактически предельно допустимое содержание повышается.

При проведении эксперимента горения подвагонного оснащения источником зажигания выступал аккумуляторный ящик. На него приходилась наибольшая пожарная нагрузка в подвагонном оснащении.

Целью исследования также были температурные различия и состояние газовой среды в различных вагонах при изменении огнестойкости пола.

Повышение огнестойкости пола является одним из самых важных вопросов при конструировании вагонов метрополитена. Поэтому постоянно рассматриваются дополнительные меры, понижающие вероятность горения и распространения огня.

Максимальная температура достигалась за 34 мин (на расстоянии 1,5 м от пола вагона), но при этом критическое значение температуры также не было достигнуто. В определенных точках (над зоной очага) максимальное значение температуры достигалось 60 °С. В остальных зонах температура не превышала 40 °С.

На рис. 1 представлены данные концентрации токсичного газа, проведенные исследования динамики концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения в первые десять минут, по показателю HCN и HCl на участках показал, что:

- концентрация HCN в тоннеле намного ниже аварийной ПДК, и при изолированном 15-и минутном воздействии на человека составляет 16 мг×м⁻³ [11];
- изменения концентраций HCl рядом с аварийным вагоном не превышает допустимых значений.

Рядом с вагоном расположенным смежно, концентрация продуктов горения в атмосфере по показателю HCl на 15-й минуте от начала горения по принятой пожарной нагрузке увеличилось до значений - 55 мг×м⁻³, что выше предельных значений установленных [2], в более чем в два раза.

При проведении эксперимента на предмет исследования пола класса «Е» также использовался аккумуляторный ящик в качестве пожарной нагрузки.

По результатам проведенных исследований было установлены следующие результаты:

- появление дыма от горения ветоши произошло на 1 минуте процесса горения;
- на 6 минуте появился дым из-под дивана;
- на 7 минуте дым проник в салон вагона через узел прохода кондукта;
- на 13 минуте начался процесс горения деревянного ящика;
- на 19 минуте произошло образование поперечной трещины в полу над очагом;
- на 20 минуте пламя вышло за поперечные габариты вагона;
- далее происходило горение краски в вагоне и деформация пола над очагом;
- на 30 минуте видимость в направлении перегородки была только на 10 м.

Температура покрытия пола в некоторых точках салона достигала максимальных значений в 250-270 °С. В этом случае содержание кислорода в салоне понижалось на 2 %, а окись углерода на 1 %.

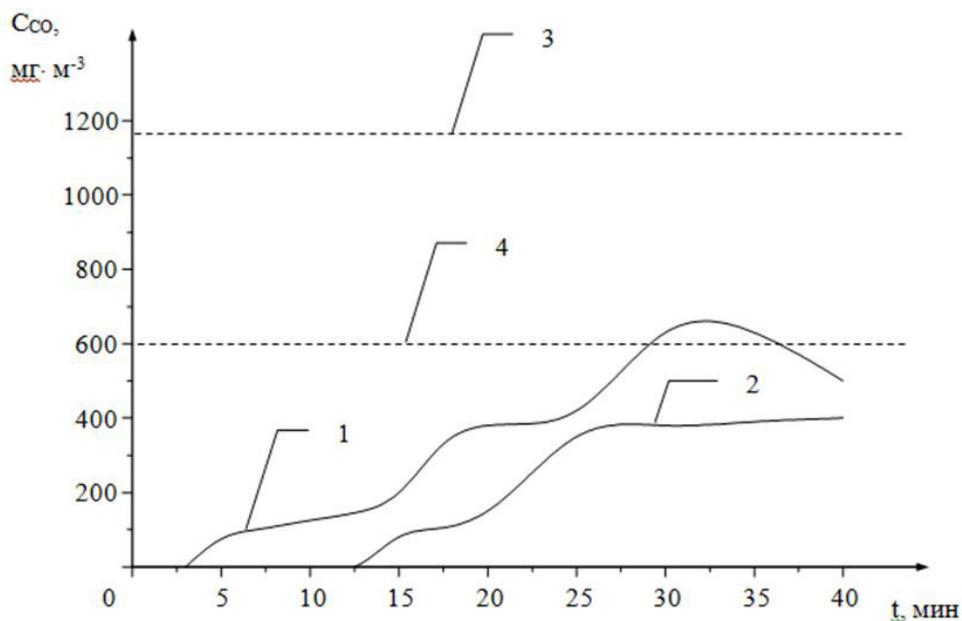


Рис. 1. Изменение концентрации CO на путях эвакуации при пожаре в подвагонном оборудовании: 1- концентрация CO в салоне аварийного вагона; 2 - концентрации CO в тоннеле на стыке аварийного и смежного с ним вагона; 3 - критическое значение концентрации CO, равное $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ [2]; 4 - уровень аварийной ПДК для CO, равный $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ [14]

По данные результатам можно сделать вывод о том, что безопасная эвакуация допустима. Изменение температуры в нижней зоне на расстояние 100 мм от плоскости двери приведено на рис. 2.

Как видно из данных, приведенных на рисунке, критическое значение температуры было достигнуто к 15 минуте.

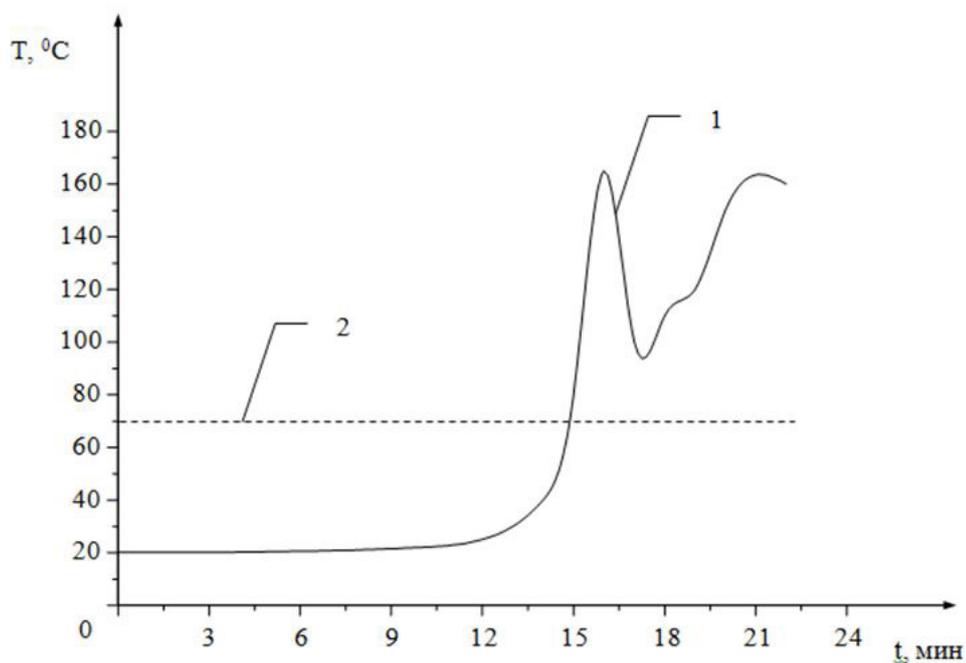


Рис. 2. Изменение температуры в 100 мм от поверхности двери в нижней зоне: 1- температура в 100 мм от поверхности двери в нижней зоне; 2- критическое значение температуры

Следующим объектом исследования являлся процесс развития пожара в тоннеле. Температурный режим исследовался по результатам огневых испытаний проведённых в макете участка тоннеля М1:1 с вагонами метрополитена. Термопары были размещены в макете тоннеля на высоте 1,5 м от уровня путевого бетона, что соответствует уровню рабочей зоны. Двери аварийного вагона со стороны термопар были открыты.

Схема расстановки фиксирующих параметры пожара приборов (термопар) в тоннеле приведена на рис. 3.

Средняя скорость воздушного потока в макете тоннеля задавалась из диапазона значений средних скоростей воздуха в тоннеле при остановке движения поездов. Воздушный поток имитировался вентиляционной установкой с диспергатором потока

Полученные данные об особенностях развития пожара в метрополитенах ценны могут использоваться при пересмотре противопожарных правил.

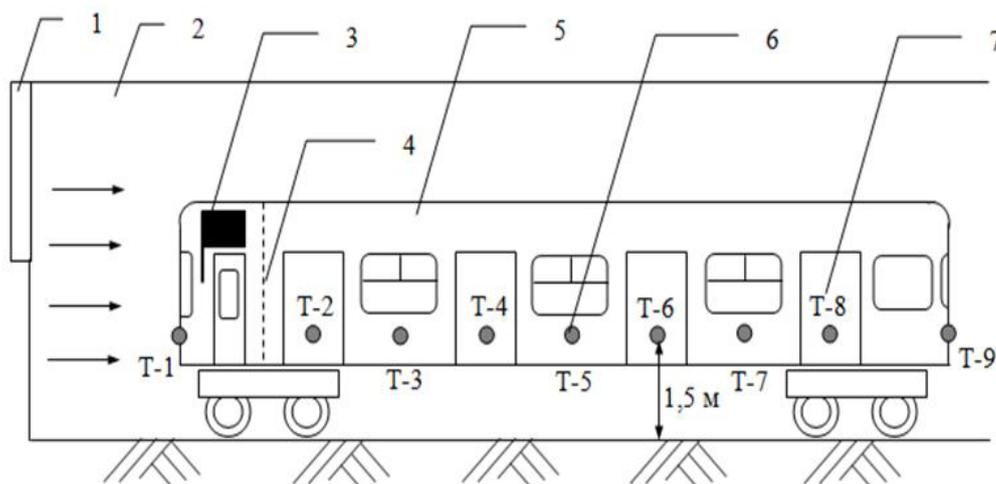


Рис. 3. Схема расстановки термопар на путях эвакуации в тоннеле: – вентиляционная установка; 2 – макет тоннель; 3 – очаг пожара; 4 – перегородка; 5 – салон вагона; 6 – термопара; 7 – номер термопары

Изменение температуры на путях эвакуации в тоннеле при пожаре в кабине управления приведено на рис. 4.

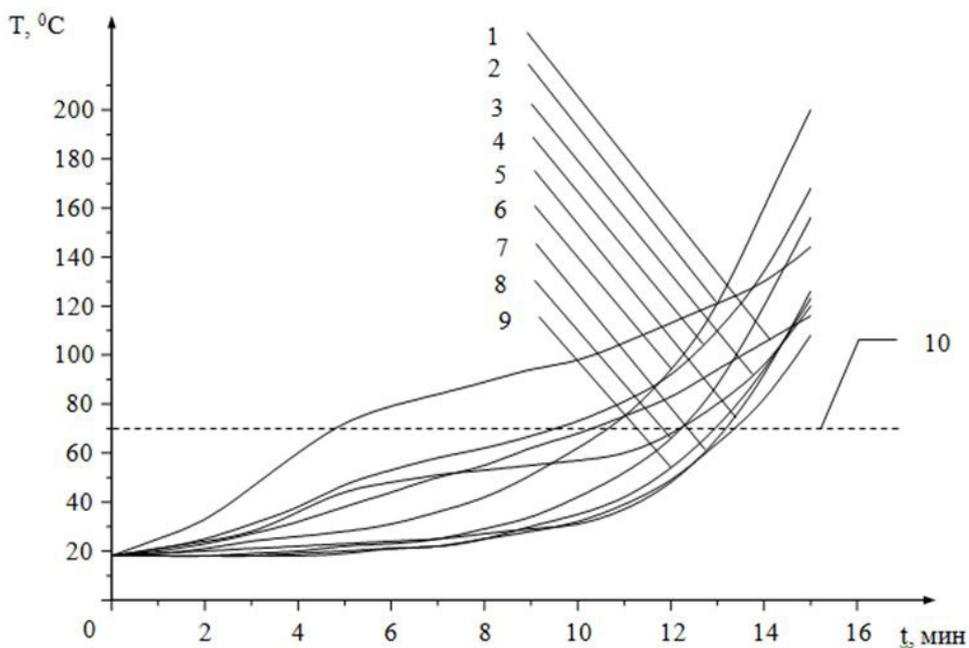


Рис. 4. Изменение температуры на уровне рабочей зоны в тоннеле при пожаре в кабине управления: 1 - 9 - номера термопар; 10 - критическое значение температуры

Рассмотрение данных экспериментов показывает, что опасные температуры (70 °С и выше) возникают с 4,8 мин. Установлено, что к 13 минуте происходит нарастание температуры до критического значения на границе раздела аварийного и смежного с ним вагона.

Конструирование вагона метрополитена, который будет абсолютно не подвержен огню, невозможно. Но в современном мире активно ведутся разработки на основе результатов экспериментов, которые повышают огнестойкость и минимизируют ущерб, приносимый пассажирам и вагону.

Полученные в ходе проведенных экспериментов результаты о динамике распространения ОФП позволили построить математическую модель пожара подвижного состава метрополитена в тоннеле. Использование данной модели позволило проводить оценку различных вариантов пожара, изменяя исходные данные по метам возникновения, режимам вентиляции, пожарной нагрузки и т.д. Данная модель коррелируется с результатами экспериментов проведенных ранее [15].

Исходя из совокупности проанализированных фактов, можно сделать выводы о том, что наиболее сложно эвакуировать людей из вагона во время пожара в кабине управления; температура является определяющим фактором критической продолжительности при пожаре в кабине управления; последствия данного вида пожара наиболее опасны и труднопереносимы; в ходе моделирования пожароопасных ситуаций установили, что наиболее высокая температура вероятна в салоне. Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что за значение необходимого времени эвакуации на начальном этапе, целесообразно принять время блокирование одним из ОФП, участка пути включающего салон вагона и тоннель в пределах этого вагона

Данные исследования указывают на то, что необходимо разрабатывать и использовать новые технические решения в вопросах обеспечения пожаробезопасности метрополитенов, а также проводить интенсивное и качественное обучение правильным действиям персонала метрополитена в чрезвычайных ситуациях.

Полученные результаты применимы для разработки современных и совершенствования существующих планов эвакуации пассажиров из вагонов метрополитена и тушения пожаров.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон № 123-ФЗ. /Российская газета. Федеральный выпуск № 4720 от 01.08.2008.
2. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. ИПК Издательство стандартов. М. 1996.
3. Ильин В.В., Федоров А.И., Григорьева И.Н. Пожарная нагрузка и интенсивность тепловыделения сооружений метрополитенов // Противопожарная защита подземных сооружений метрополитенов: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 11-20.
4. Красников А.В., Кулев Д.Х., Федоров А.И., Гитцович А.В. Состав продуктов горения основных материалов вагонов метрополитена // Противопожарная защита подземных сооружений метрополитенов. М., 1986, С. 5 – 8.
5. Беляцкий В.П., Махин В.С., Бакинов И.Г. Развитие пожара в подвижном составе метрополитена // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и Ж. Д. - М., 1990 - С. 26-29.
6. Махин В.С. Пожарная опасность цельнометаллических пассажирских вагонов// Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и Ж. Д. - М., 1990. - С. 43-52.
7. Ефимов С.Г., Бакинов И.Г., Федоров А.И. Огневые испытания пассажирских вагонов // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов. - М., 1990. - С. 52 - 61.
8. Негодаев Г.Д. Формирование опасных факторов пожара в пассажирском вагоне // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и Ж. Д. - М., 1990. - С. 61 - 68.
9. Махин В.С., Иличкин В.С., Красников А.В., Вакинов И.Г. Формирование опасных факторов пожара при горении подвижного состава в тоннеле метрополитена // Методология проблемы обеспечения пожарной безопасности МВД СССР. ВНИИ противопожарной обороны. - М., 1991. - С. 111 - 118.

10. Меркушкина Т.Г., Тимоненко В.Н. Обоснование коэффициента безопасности при определении необходимого времени эвакуации людей // Системное исследование пожаров и организационные проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1988.
11. Stec A., Hull R. Fire Toxicity. Woodhead Publishing, 2010. 728 p.
12. Popov V.V. Fire prevention measures for subway rolling stock by means of self-acting powder extinguishers // Fire Safety Journal. 25, Issue 2. 1995. P. 183. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(95\)90065-9](https://doi.org/10.1016/0379-7112(95)90065-9).
13. Dyakov V.V. Use of ventilation flows for delivery of fire extinguishing agents in fires in subway tunnels // Fire Safety Journal. 26, Issue 2. 1996. P. 188. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(96\)83268-1](https://doi.org/10.1016/0379-7112(96)83268-1).
14. Galea E.R. A general approach to validating evacuation models with an application to EXODUS. // Journal of Fire Sciences, 1998, v. 16, N 6. - P. 414-436.
15. Агеев П.М. Разработка моделей и методов исследования процессов развития пожаров на станциях метрополитена // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский государственный университет Государственной противопожарной службы МЧС России. Санкт-Петербург, 2012. – 148 с.