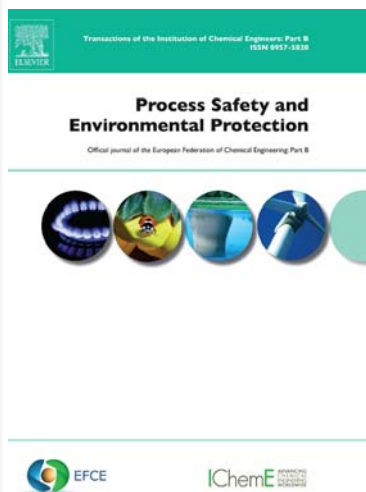


РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ИЗДАНИЙ



Process Safety and Environmental Protection 146 (2021): 350–359

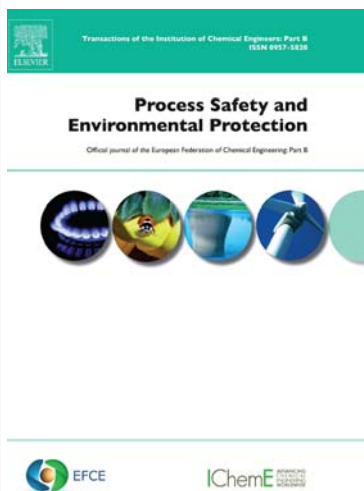
ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ЗАКОПЧЕННОСТИ В ЖАРКИХ И ВЛАЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Цзыцзянь Ли, Пэйхун Чжан (Китай)

Были исследованы характеристики пожаров, связанных с горением материалов, выделяющих различные объемы сажи (дизельное топливо и спирт), в жарких и влажных условиях при наличии естественной вентиляции. Экспериментальные испытания проводились при различных начальных температурах окружающей среды (20 °С и 30 °С) и разных значениях относительной влажности (50 % и 90 %), а также были измерены такие параметры, как температура пламени, тепловое излучение и скорость потери массы. Была создана и верифицирована теоретическая модель излучения пламени. Индекс развития пожара (FDI) был определен как отношение пиковой температуры пламени T_p к длительности пожара t_p на начальной стадии развития пожара, а индекс интенсивности пожара (FSI) был определен как произведение теплового излучения пламени R_{av} и продолжительности t_d на стадии объемного развития пожара. Полученные результаты подтвердили обоснованность разработанной теоретической модели. На начальной стадии развития пожара повышение исходной температуры окружающей среды приводило к росту индекса FDI, в то время как увеличение относительной влажности приводило к его понижению. На стадии объемного развития пожара повышение начальной температуры окружающей среды или влажности приводило к снижению индекса FSI в условиях ограниченного расхода топлива, а температура окружающей среды более существенно влияла на пожары проливов спирта, чем на пожары дизельного топлива. Кроме того, в условиях высокой температуры и влажности оба показателя снизились.

Ключевые слова: *характеристики пожара, тепловое излучение, температура окружающей среды, относительная влажность, закопченность*

Process Safety and Environmental Protection 146 (2021): 360–368



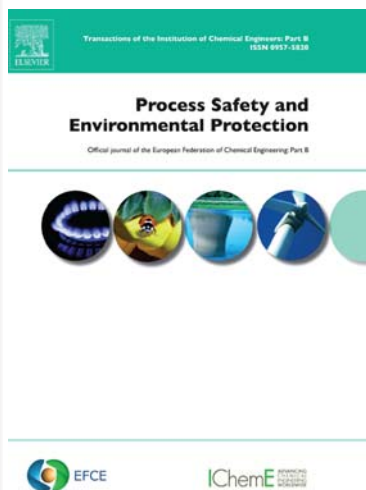
ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХФАЗНОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПЕНЫ ПРИ ЛУЧИСТОМ НАГРЕВЕ

Рифэн Чжоу, Сюэцин Ланг, Сюй Чжан, Бин Тао, Лимин Хэ (Китай)

Ограниченная устойчивость и теплоизоляционные характеристики традиционной водной пленкообразующей пены (AFFF) влияют на ее эффективность при тушении пожаров. В последнее время в качестве стабилизаторов широко применяются функциональные наночастицы. Сформированная трехфазная пена обладает лучшими эксплуатационными характеристиками. Однако принцип действия и характеристики теплопередачи трехфазной пены все еще неясны и требуют дальнейшего уточнения. Поэтому в данной работе исследуются термическая стабильность, объемное расширение и температурные профили внутри слоя пены, подвергающейся воздействию высокотемпературной среды. Результаты показывают, что высокая температура окружающей среды способствует вспениванию, но снижает стабильность пены. Слой пены при непрерывном лучистом нагреве проходит три последовательные стадии, а именно: начальную стадию, сбалансированную стадию и стадию разрушения из-за особых характеристик теплопередачи, направленных в глубокие слои пены. Кроме того, дополнительно оценивается влияние состава пены и условий ее эксплуатации на пенную изоляцию. Обнаружено, что изоляционные свойства пены могут быть улучшены при более высокой концентрации частиц, особенно гидрофобных. Высокая кратность пены обеспечивает ей лучшую стабильность, но ухудшает ее теплоизоляцию. Срок службы пены уменьшается с увеличением теплового потока излучения. На основе полученных результатов сформулированы полезные рекомендации для достижения высокой эффективности пенного пожаротушения.

Ключевые слова: *трехфазная пена, термостабильность, изоляция, наночастицы кремнезема, тепловое излучение*

Process Safety and Environmental Protection 146 (2021): 369–376



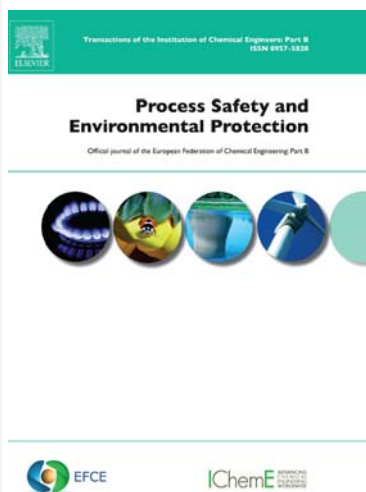
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МНОЖЕСТВА ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ГАЗОВ НА ПРЕДЕЛ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ CH_4 : ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Чжэньминь Ло, Хэ Лян, Тао Ван, Фанмин Чэн, Бин Су, Литао Лю, Бо Лю (Китай)

Метан способствует формированию смеси легко воспламеняющихся газов в процессе производства и переработки, поскольку является основным компонентом природного газа и важным химическим сырьем. Поэтому понимание предела воспламеняемости метана и предельной концентрации кислорода в нем крайне важно для прогнозирования вероятности пожара и взрыва на промышленном производстве и разработки соответствующих параметров мониторинга. Для решения этой проблемы было проведено систематическое исследование влияния добавления смеси $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_4/\text{CO}/\text{H}_2$ на предел воспламеняемости метана и предельную концентрацию кислорода при разбавлении N_2 . Кроме того, предел воспламеняемости был вычислен с использованием теории предельной скорости горения и подробной кинетической модели реакции, а также был проведен анализ чувствительности для изучения химической кинетики вблизи предела воспламеняемости. Экспериментальные результаты показывают, что при постепенном увеличении объемной доли смешанного газа верхний и нижний пределы воспламеняемости метана уменьшаются, а уменьшение нижнего предела воспламеняемости больше, чем уменьшение верхнего предела воспламеняемости. В условиях разбавления азотом предельная концентрация кислорода постепенно уменьшается с увеличением концентрации смешанного газа. Треугольник взрыва расширяется и перемещается в нижний левый угол, диапазон пределов воспламеняемости увеличивается, и существует большая опасность взрыва. Результаты расчетов, основанные на предельной скорости ламинарного горения, хорошо согласуются с экспериментальными данными. Анализ чувствительности показывает, что элементарные реакции с участием активных свободных радикалов OH , H и O обладают более высокой чувствительностью. Добавление смешанного газа стимулирует реакцию разветвления цепи R31, ингибируются реакции прекращения цепи R12 и R41, изменяется пропорциональность между реакцией разветвления цепи и реакцией прекращения цепи, а также расширяется диапазон пределов воспламеняемости метана.

Ключевые слова: *предел воспламеняемости, опасность взрыва, предельная концентрация кислорода, химическая кинетика*

Process Safety and Environmental Protection 146 (2021): 396–411

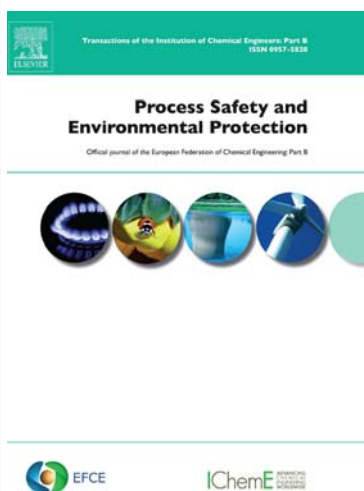


ПОЛНОМАСШТАБНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРА ВОДЯНЫМ ТУМАНОМ НА СПАСАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТУННЕЛЯ: ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Чжуан Фань, Жунвэй Бу, Сяоцин Се, Ян Чжоу (Китай)

Спасательные станции необходимы для экстренной эвакуации из сверхдлинных железнодорожных туннелей. Однако недостаток соответствующих исследований, направленных на улучшение эффективности пожаротушения системы водяного тумана в сценариях пожара, значительно ограничивает ее применение. В этой работе было проведено 20 серий полномасштабных экспериментов по тушению пожара водяным туманом для изучения влияния системы водяного тумана на температурные характеристики дыма, включая время активации водяного тумана (обозначается t), рабочее давление (P), k -фактор (K) и скорость продольного ветра. Результаты показывают, что при $t = 3$ мин, $P = 12$ МПа и $K = 0,5$ можно достичь наилучших показателей регулирования температуры. Несмотря на сильные колебания температуры со стороны поезда, температуру дыма можно легко сдерживать. Кроме того, установлено, что продольная вентиляция полезна для улучшения видимости на платформе и снижения температуры дыма. При $P = 12$ МПа совместное влияние водяного тумана и продольной вентиляции на охлаждение дыма намного выше. Вместе с тем обнаружено, что неограниченное максимальное повышение температуры имеет большую кубическую зависимость от вертикальной высоты и уменьшается с увеличением продольного расстояния во всех сценариях. Кроме того, при продольной вентиляции значения безразмерных максимальных повышений температуры ниже, чем при отсутствии продольной вентиляции в зоне покрытия водяным туманом. Результаты этой работы могут послужить важным ориентиром для проектирования системы водяного тумана на спасательных станциях в железнодорожных туннелях.

Ключевые слова: *спасательная станция, продольная вентиляция, коэффициент водяного тумана, распределение температуры*



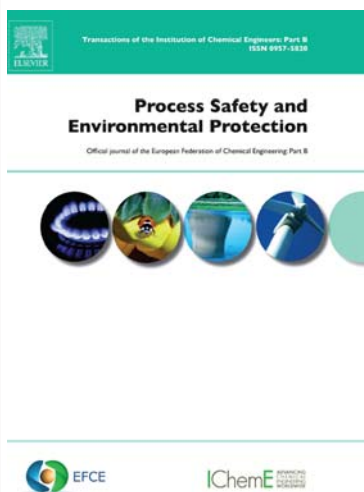
Process Safety and Environmental Protection 146 (2021): 770–778

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОЧНОЙ СЕТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ СМЕСИ H_2 /ВОЗДУХ В ЗАКРЫТОЙ ТРУБЕ

Кайцян Цзинь, Цинсун Ван, Цянлин Дуань, Цзяян Чен, Цзиньхуа Сун (Китай)

С целью решения проблем безопасности, связанных с пожаром и взрывом, которые могут возникнуть при транспортировке водорода по трубопроводу, в данной статье экспериментально исследуются характеристики тушения пламени водородно-воздушной смеси под действием металлической проволочной сетки в закрытой трубе. Для получения результатов тушения пламени используется высокоскоростная система фотосъемки шлирен-методом. Датчик давления используется для проверки изменений давления. По изображениям, полученным при фотосъемке шлирен-методом, видно, что проволочная сетка значительно увеличивает изгибы перевернутого фронта пламени в случае сжигания обедненного топлива ($\Phi = 0,42$), но ослабляет степень инверсии пламени при условиях $\Phi = 1,00, 1,59$ и $2,38$. Кроме того, результаты показывают, что эффективность тушения пламени значительно увеличивается по мере увеличения объема металлической проволочной сетки (V_M). Кроме того, по сравнению со случаями горения обедненного топлива, проволочная сетка обеспечивает более значимый эффект подавления в случаях горения богатого топлива благодаря совместно подавляющему воздействию на волны давления и процесс горения. Более того, обнаружено, что критическая скорость тушения линейно увеличивается с увеличением V_M , но максимальное критическое давление тушения всегда поддерживается на постоянном значении приблизительно $0,115$ МПа. Полученные результаты могут послужить важным ориентиром при проектировании водородных пламегасителей для повышения безопасности транспортировки водорода по трубопроводам и прочих технических применений.

Ключевые слова: *предварительно смешанный, водород, металлическая проволочная сетка, характеристики тушения*



Process Safety and Environmental Protection 146 (2021): 961–967

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЗАПОЛНЕННОГО ОБЪЕМА НА ТЕМПЕРАТУРУ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ ШЛЕЙФА ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ НОВОЙ МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

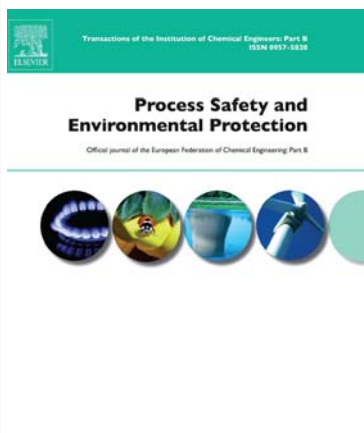
Чуньсян Лю, Лонг Дин, Цзе Цзи (Китай)

Исследование изменения температуры центральной линии шлейфа пожара имеет как фундаментальное, так и практическое значение для обеспечения безопасности технологических процессов, анализа рисков и борьбы со стихийными бедствиями. На практике незаполненный объем (расстояние между поверхностью топлива и верхним краем контейнера) является общим граничным условием, которое влияет как на интенсивность горения, так и на его характеристики. В данном исследовании была проведена серия экспериментов по выявлению влияния незаполненного объема на изменение температуры центральной линии гептанового огненного шлейфа. Испытываемый незаполненный объем систематически изменяли от нуля до значения, при котором пламя самозатухало. Результаты показали, что по мере увеличения незаполненного объема температура центральной линии огненного шлейфа сначала снижалась, а затем немного повышалась. Результаты испытаний, полученные в ходе данных исследований, показали, что предыдущие классические модели не способны предсказывать температурные профили при наличии большого незаполненного объема.

На основе физического и критериального анализа была создана новая виртуальная модель влияния незаполненного объема. Была предложена и подтверждена литературными экспериментальными данными более универсальная модель температуры центральной линии шлейфа, с помощью которой возможно прогнозировать профили температуры центральной линии при любых параметрах незаполненного объема.

Ключевые слова: *незаполненный объем, виртуальное происхождение, температура центральной линии огненного шлейфа, пожар пролива, технологическая безопасность*

Process Safety and Environmental Protection 147 (2021): 55–67



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ СМЕСЕЙ ЦИКЛОГЕКСАН/О₂/N₂ В ДЛИННЫХ И КОРОТКИХ ТРУБАХ

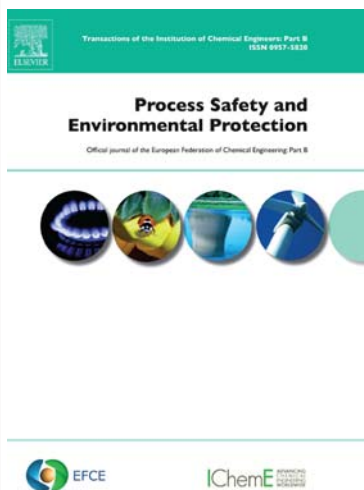
Ханс-Петер Шильдберг, Юлия Эбле (Германия)

За последние 5 лет Группа инженеров по безопасности BASF определила значения статических эквивалентных давлений (p_{stat}) для восьми сценариев детонационного давления, которые могут возникнуть во взрывоопасных газовых смесях в длинных и коротких трубах. Для различных горючих веществ значения p_{stat} соответствующих тройных смесей горючее вещество/О₂/N₂ были более точно определены на стехиометрической линии и на О₂-линии треугольника взрыва. Таким образом, значения p_{stat} для всех других составов в рамках треугольника взрыва могут быть предсказаны путем экстраполяции с точностью, достаточной для практического применения. Кроме того, было представлено предложение о том, как перенести эти результаты на огромное количество других горючих веществ, которые до сих пор не были исследованы. Ключевым параметром в этом контексте было отношение R между статическим эквивалентным давлением в точке, где в длинной трубе происходит переход от дефлаграции к детонации, и статическим эквивалентным давлением в области стабильной детонации.

В настоящей работе приведены значения p_{stat} новой тройной смеси циклогексан/О₂/N₂. Циклогексан особо интересен, поскольку значение его температуры самовоспламенения (AIT) на воздухе существенно ниже, чем значения AIT всех горючих веществ, которые были протестированы ранее. Согласно размышлениям авторов, низкое значение AIT должно заметно снизить коэффициент R. Эксперименты, однако, не подтвердили эту гипотезу. После представления экспериментальных результатов, которые фактически подтверждают выводы по исследованным ранее горючим веществам, будет представлено объяснение неожиданного поведения в отношении коэффициента R с точки зрения различий между низкотемпературным и высокотемпературным механизмом окисления. В качестве побочного результата это объяснение также позволяет лучше понять количественно степень предварительного сжатия в еще не прореагировавшей смеси, необходимую для возникновения перехода дефлаграции в детонацию (ПДД).

Ключевые слова: *механизм низкотемпературного окисления, детонация, переход от дефлаграции к детонации, механизм высокотемпературного окисления, статическое эквивалентное давление, время задержки воспламенения*

Process Safety and Environmental Protection 147 (2021): 146–161

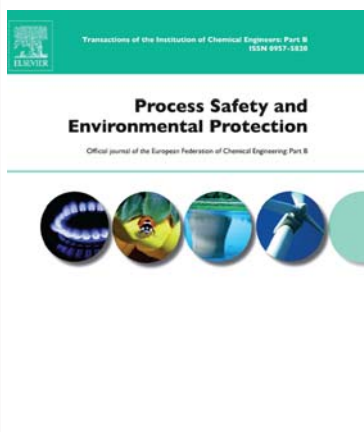


ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ПОЖАРОМ И ЗАДЫМЛЕНИЕМ НА СТАНЦИЯХ МЕТРО И СОВМЕСТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ

Чжэньхуа Ван (Китай, Дания), Куйбинь Чжоу (Китай), Ле Чжан (Китай), Сюань Не (Китай), Юэцюн Ву (Китай), Цзюньчэн Цзян (Китай), Анна Симона Дедерихс (Дания), Лу Хэ (Китай)

Часто сообщается, что падающая струя пламени с высокой инерцией на выходе вызывает эффект домино при промышленных пожарах. В литературе имеется меньше данных о площади распространения пламени и распределении температуры на вертикальной пластине, на которую воздействует пламя горизонтальной струи. Таким образом, в этой статье проводится систематический эксперимент для выявления влияния параметров скорости выхода из сопла, выходного диаметра и расстояния между выходными пластинами на горизонтально падающую струю пламени. Экспериментальное наблюдение показывает эволюцию рисунка и цвета пламени с увеличением скорости выхода и уменьшением расстояния между выходными пластинами. Площадь распространения пламени, вызванная попаданием горизонтальной струи пламени, была измерена с помощью нового метода, который сочетает в себе технологию обработки изображений и метод тепловизионной визуализации. Путем физического анализа была разработана новая корреляция между коэффициентом турбулентного растяжения Карловица и отношением выходного диаметра сопла к расстоянию между выходными пластинами для области распространения пламени как горизонтально, так и вертикально падающей струи пламени. Изменение максимальной температуры в зоне натекания в зависимости от расстояния между выходными пластинами по-прежнему соответствует классической корреляции температуры центральной линии в непрерывном и прерывистом пламени. Однако горизонтально падающий струйный огненный шлейф имеет более короткую область прерывистого пламени из-за изгиба пламени вверх. Обнаружено, что профиль температуры сильно отличается в направлениях вверх и вниз вдоль вертикальной пластины. Предложена новая единая корреляция с радиусом шлейфа в качестве характерного масштаба длины, позволяющая хорошо сжимать все данные о температуре в зоне столкновения.

Ключевые слова: *струя пожара, падающая струя, распространение пламени, температура пламени, вертикальная пластина, скорость выхода*



Process Safety and Environmental Protection 147 (2021): 547–558



ПЛОЩАДЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОФИЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУИ ПЛАМЕНИ, ПАДАЮЩЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ПЛАСТИНУ

Кай Ван, Вэйяо Цай, Юйчэнь Чжан, Хайцин Хао, Цзитин Ван (Китай)

В перерабатывающей промышленности огнеопасным и взрывоопасным свойством являются пожары в метро могут легко привести к многочисленным жертвам, в данной статье предлагается идея активной ликвидации последствий стихийных бедствий, которая включает в себя вентиляцию, вытяжку, удаление дыма и выхлопных газов, а также другие средства, включенные в централизованное управление для оказания помощи в эвакуации пассажиров и тушении пожара. Проанализирован метод вентиляции и дымоудаления, используемый в многослойных переходах сложных метрополитенов, а также выбрана типичная пересадочная станция для построения численной модели. Комбинированное удаление дыма от пожара анализируется на основе шести режимов вентиляции, а программное обеспечение для моделирования динамики пожара используется для выполнения нескольких численных симуляций. Согласно результатам моделирования, вентиляция и борьба с дымом применяются в случаях пожара на втором и третьем этажах метрополитена, скорость воздушного потока на лестнице достигает 2 м/с, что может полностью сдерживать дым на этаже пожара. В соответствии с характеристиками различных очагов возгорания и сценариями борьбы с дымом создана модель дистанционного мониторинга на основе слияния многоэлементной информации, такой как сведения о вентиляционном тракте, характеристики вентилятора, сведения о канале дымоудаления и средствах блокировки дыма, а также разработана совместная централизованная платформа спасения для ликвидации последствий пожара. Выполняется анализ стихийных бедствий в режиме реального времени, а также разрабатывается интеллектуальное управление воздушным потоком и дымоудалением в форме поля турбулентности дыма для облегчения безопасной эвакуации и эффективного тушения пожара и спасения людей во время чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: *пожар в метро, дымоизоляция, механическое удаление дыма, слияние информации, совместное централизованное управление*

Материал (поступил в редакцию 24.11.2022 г.) подготовили:

Ю.В. МЕЛЬНИКОВА, мл. науч. сотр.; Н.В. САЙГИНА, ст. науч. сотр.; А.И. МИРОНОВА, науч. сотр.; М.Г. ЗАВИДСКАЯ, нач. сектора (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)