

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.387>

УДК [614.844+697.92]:725.3

ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ВРЕМЯ БЛОКИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИЯХ ВЫСОКОСТЕЛЛАЖНОГО ХРАНЕНИЯ

Суриков А.В., Калантарли А.Т., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О.

Цель. На основе численного моделирования пожара в помещении склада с высотным стеллажным хранением определить оптимальный алгоритм взаимодействия автоматических установок пожаротушения (АУПТ) и противодымной вентиляции (ПДВ) по времени блокирования эвакуационных путей и эффективности локализации пожара.

Методы. В работе применены теоретические методы исследования (анализ, синтез, сравнение), а также выполнено численное моделирование в расчетном программном комплексе Fire Dynamics Simulator.

Результаты. В результате численного моделирования пожара в помещении склада с высотным стеллажным хранением резинотехнических изделий размерами 60×50×14 м и высотой складирования пожарной нагрузки 12,5 м определен оптимальный алгоритм взаимодействия АУПТ и ПДВ по времени блокирования эвакуационных путей и эффективности локализации пожара, а именно: оросители АУПТ размещаются только во внутрискеллажном пространстве, при этом запуск противодымной вентиляции производится от АУПТ. Данная схема защиты позволяет локализовать очаг пожара без распространения на соседние стеллажи и удерживать его мощность на минимальном уровне, а также увеличить время блокирования продуктами горения и термического разложения путей эвакуации в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м в среднем в 1,3 раза и эвакуационного выхода в той же плоскости в 1,7–2,9 раза по сравнению с иными вариантами взаимодействия АУПТ и ПДВ.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы для определения алгоритмов взаимодействия составных элементов систем пожарной автоматики при защите складов с высотным хранением материалов.

Ключевые слова: автоматическая установка пожаротушения, противодымная вентиляция, склад с высокостеллажным хранением, видимость при пожаре, эвакуационный путь, численное моделирование.

(Поступила в редакцию 29 июля 2021 г.)

Введение

В настоящее время для хранения товарно-материальных ресурсов все чаще используются сложные технологичные склады с высокостеллажным хранением. Высокостеллажным хранением, или, как принято в нормативной терминологии «высотным стеллажным хранением», считается хранение на стеллажах веществ, материалов, продукции с высотой складирования свыше 5,5 м¹. Требования к возведению складских зданий с высотным стеллажным хранением установлены в ТКП 45-3.02-95-2008². Такие здания при условии отнесения их к категории В³ следует проектировать одноэтажными I–IV степени огнестойкости с фонарями (люками) или вытяжными шахтами на покрытии для дымоудаления.

Пожары на складах с высокостеллажным хранением характеризуются высокой интенсивностью выделения тепла и дыма, большой продолжительностью и площадью пожара, что

¹ Складские здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-95-2008 (02250). – Введ. 28.05.08. – Минск: Стройтехнорм, 2008. – 10 с.

² См. сноску 1.

³ Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474-2013. – Введ. 29.01.13. – Минск: НИИ ПБиЧС, 2008. – 57 с.

влечет крупный материальный ущерб. По этой причине защита таких объектов от пожаров остается одной из важнейших задач обеспечения их безопасности.

В числе технических средств противопожарной защиты складов с высокостеллажным хранением используются автоматические установки пожаротушения (АУПТ) и системы противодымной вентиляции (ПДВ)^{4, 5, 6}. Наиболее часто применяются водяные спринклерные АУПТ, а в качестве ПДВ – фонари (люки) или вытяжные шахты на покрытия для дымоудаления. В Беларуси необходимость применения АУПТ и ПДВ для противопожарной защиты объектов регламентируется соответствующими нормативными правовыми актами^{7, 8}. Причем на ряде объектов, в частности в складских зданиях, необходимо предусматривать одновременно АУПТ и ПДВ. Применение данных систем направлено на минимизацию негативных последствий в результате пожара, в частности, на создание условий для эвакуации людей до наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП). К ОФП относят дым, пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды и концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения и пр. Практика оценки динамики пожара показывает, что потеря видимости в результате задымления во время пожара, как правило, наступает быстрее, чем достигаются критические значения других ОФП.

Учитывая необходимость применения для защиты складов с высокостеллажным хранением как АУПТ, так и ПДВ, актуальным является вопрос о совместном использовании данных систем, т.к. они могут влиять на эффективность работы друг друга.

Существует два противоположных мнения специалистов в области технических средств противопожарной защиты в отношении алгоритма запуска ПДВ. Первое заключается в том, что первичной должна быть активация спринклерной АУПТ с последующим запуском ПДВ от АУПТ, что соответствует требованиям действующих на территории Республики Беларусь норм проектирования^{9, 10}. Аналогичный подход применяется и в Российской Федерации. Так, согласно российским нормам в складах с высотным хранением ПДВ должна приводиться в действие от АУПТ с задержкой времени 4 ± 1 мин¹¹.

Второй подход заключается в том, что первоначально должна включаться ПДВ, причем это должно происходить от командного импульса, сформированного от дымовых пожарных извещателей (ДПИ) пожарной сигнализации, а уже потом активируется спринклерная АУПТ.

Основным недостатком первого алгоритма запуска систем противопожарной защиты считается то, что вследствие ряда термогазодинамических процессов, происходящих в слое дыма при подаче в него воды из спринклерной АУПТ, значительная часть дымового аэрозоля опускается из припотолочного слоя, тем самым создавая значительную оптическую плотность среды на уровне глаз, что, в свою очередь, негативно сказывается на скорости эвакуации людей из помещения.

⁴ О пожарной безопасности: Закон Респ. Беларусь от 15 июня 1993 г. № 2403-ХП; в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.12.2015 № 334-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2001. – № 3. – 2/391.

⁵ Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Взамен ГОСТ 12.1.004-85; введ. 17.12.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 88 с.

⁶ См. сноску 1.

⁷ Пожарная автоматика зданий и сооружений: СН 2.02.03-2019. – Введ. 16.08.20 (с отменой на территории Респ. Беларусь ТКП 45-4.02-317-2019). – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 86 с.

⁸ Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции: СН 2.02.07-2020. – Введ. 10.05.21 (с отменой на территории Респ. Беларусь ТКП 45-4.02-273-2012). – Минск: Стройтехнорм, 2021. – 20 с.

⁹ См. сноску 7.

¹⁰ См. сноску 8.

¹¹ Системы противопожарной защиты. Установки водяного пожаротушения высотных стеллажных складов автоматические. Нормы и правила проектирования: СП 241.1311500.2015 – Введ. 01.09.15. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2015. – 19 с.

В качестве недостатка второго алгоритма включения ПДВ отмечается, что при включении ПДВ в припотолочной области помещения, где размещаются спринклерные оросители АУПТ, возникает движение воздушного потока с некоторой скоростью, приводящее к изменению направления естественного восхождения конвективного потока от очага пожара, и тем самым создаются условия для повышения инерционности оросителей (оросителя), в частности, расположенных непосредственно над очагом пожара [1; 2]. Следует отметить, что в нормативной базе Республики Беларусь не отражено, как следует учитывать влияние воздушного потока, создаваемого ПДВ, на время срабатывания оросителя.

Кроме того, еще одним недостатком второго подхода является то, что запуск ПДВ от ДПИ может происходить в результате их ложных срабатываний от аэрозолей, образование которых не связано с пожаром. Например, в гаражах-стоянках к ложному срабатыванию могут приводить выхлопные газы автомобилей.

Сама по себе проблема взаимодействия АУПТ и ПДВ не является новой, и этому посвящено достаточное количество экспериментальных исследований [2–7]. Наиболее обширно проблема взаимодействия АУПТ и ПДВ рассмотрена в работах [5–7]. Учитывая все многообразие влияющих на взаимодействие ПДВ и спринклерных АУПТ факторов, установлено, что наиболее оптимальным инструментом определения эффективности применения данных систем при проектировании объектов, несомненно, является моделирование пожара с применением зонной или полевой моделей развития пожара [5]. Причем применение последней более целесообразно при проведении научных исследований.

В настоящей работе представлены результаты исследований с применением методов численного моделирования по определению зависимости необходимого времени эвакуации (временной промежуток до достижения критических значений ОФП, в течение которого люди должны покинуть помещение, здание и т.д.¹²) по потере видимости при различных алгоритмах взаимодействия АУПТ и ПДВ на примере помещения склада с высокостеллажным хранением материалов.

Основная часть

Общее описание расчетных моделей. Для моделирования приняты следующие расчетные сценарии взаимодействия АУПТ и ПДВ: сценарий 1 – с размещением оросителей АУПТ во внутрестеллажном пространстве и под перекрытием по всей площади помещения, при этом запуск ПДВ осуществляется от АУПТ; сценарий 2 – аналогично сценарию 1, но запуск ПДВ осуществляется от линейных ДПИ; сценарий 3 – с размещением оросителей АУПТ под перекрытием по всей площади помещения, при этом запуск ПДВ осуществляется от АУПТ; сценарий 4 – аналогично сценарию 3, но запуск ПДВ осуществляется от линейных ДПИ. Также для сравнения принято решение дополнительно провести моделирование развития пожара для случаев без АУПТ и ПДВ, а также без АУПТ, но с ПДВ.

Для расчетных сценариев принят пожар в помещении склада с высокостеллажным хранением резинотехнических изделий (РТИ) размерами 60×50×14 м. Высота складирования пожарной нагрузки принята равной 12,5 м, что соответствуют максимальной высоте складирования материалов при применении АУПТ с одноярусным размещением оросителей под перекрытием помещения¹³.

Для моделирования развития пожара применялся расчетный программный комплекс FDS (от англ. Fire Dynamics Simulator), основанный на наиболее универсальном полевым методе моделирования пожаров (в зарубежной литературе встречается как CFD – computational fluid dynamics), по сравнению с интегральным и зонным методами [8–10].

¹² Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Изд. 2011 с изм. 1, 2 (ИУС РБ № 1-2001; ИУ ТНПА № 12-2010). – Введ. 16.04.95. – Минск: БелГИСС, 2011.

¹³ См. сноску 11.

На рисунке 1 представлена модель помещения склада, выполненная в программном комплексе PyroSim, который является графическим пользовательским интерфейсом для FDS.

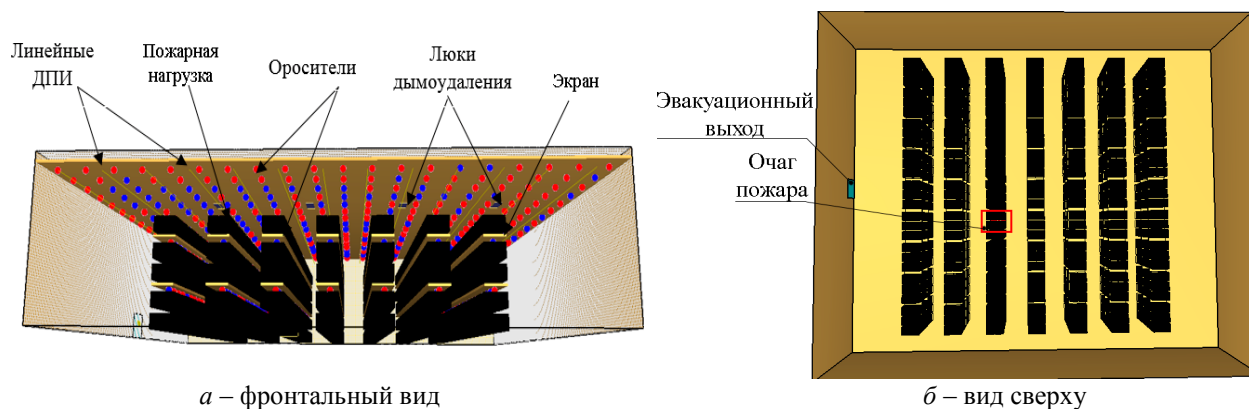


Рисунок 1. – Модель помещения склада с высокостеллажным хранением

Параметры реакции горения и пожарной нагрузки приняты в соответствии с типовой базой пожарной нагрузки согласно [11; 12]. Размеры пожарной нагрузки на стеллажах приняты исходя из стандартизированных значений. Стеллажи по вертикали разделены негорючими экранами через каждые 4 м¹⁴. Ширина проходов между стеллажами принята 3,5 м, а длина каждого стеллажа – 40 м. Вытяжные люки дымоудаления расположены равномерно над проходами между стеллажами с учетом максимально допустимых расстояний между ними.

При моделировании командный импульс на запуск ПДВ предусмотрен при срабатывании двух линейных ДПИ (сценарии 2 и 4). Извещатели размещены на расстоянии 4,5 м друг от друга и на расстоянии 0,5 м от плоскости перекрытия¹⁵. Чувствительность линейных ДПИ принята равной 4,5 %/м, что примерно соответствует 0,2 дБ/м и находится в нормативном диапазоне значений¹⁶ (0,05–0,20 дБ/м).

Для контроля параметров пожара использовались следующие средства FDS: 1) вертикальные плоскости распределения полей температуры и видимости, проходящие через геометрический центр очага горения пожарной нагрузки, а также находящиеся в плоскости стеллажей, размещенных слева и справа от стеллажа с очагом горения; 2) горизонтальная плоскость распределения поля видимости на высоте 1,7 м от пола; 3) среднее значение видимости в горизонтальной плоскости, размещенной на высоте 1,7 м от пола; 4) модельный датчик контроля газовой среды (Gas-phase Device Visibility), определяющий видимость в точке наблюдения (размещен на высоте 1,7 м от пола у эвакуационного выхода из помещения).

В помещении склада предусмотрена спринклерная водозаполненная АУПТ. При расчетных сценариях 1 и 2 параметры и размещение оросителей АУПТ определялись согласно строительным нормам¹⁷. Во внутрестеллажном пространстве оросители размещены с шагом 1,5 м. Для защиты внутрестеллажного пространства выбраны специально предназначенные спринклерные оросители СОБР-17-В с коэффициентом производительности $k = 1,28 \text{ л}/(10 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа}^{1/2})$. Требуемая интенсивность орошения защищаемой площади – $0,8 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ¹⁸, а минимальное рабочее давление оросителя P_1 для обеспечения данной интенсивности орошения составляет

¹⁴ См. сноску 7.

¹⁵ См. сноску 7.

¹⁶ Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011/ГОСТ Р 51043-2002. – Введ. 30.05.11. – Минск: БелГИСС, 2011. – 34 с.

¹⁷ См. сноску 7.

¹⁸ См. сноску 7.

0,4 МПа¹⁹. Расход огнетушащего вещества через ороситель СОБР-17-В при рабочем давлении P_1 составляет 8,1 л/с.

Под перекрытием помещения для защиты приняты спринклерные оросители СВН-10 с коэффициентом производительности $k = 0,35 \text{ л}/(10 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа}^{1/2})$. Оросители размещены под перекрытием с сеткой 3,0×3,0 м. Требуемая интенсивность орошения защищаемой площади – 0,12 л/(с·м²), а минимальное рабочее давление оросителя P_2 для обеспечения данной интенсивности орошения составляет 0,3 МПа²⁰. Расход огнетушащего вещества через ороситель СВН-10 при рабочем давлении P_2 составляет 1,9 л/с. Расстояние до плоскости перекрытия от оросителя принято 0,2 м²¹.

Температура срабатывания для всех оросителей принята равной 68 °С, а медианный размер капель водяного факела – 150 мкм²².

Параметры и размещение оросителей АУПТ для расчетных сценариев 3 и 4 определялись согласно СП 241.1311500.2015²³. Расстояние между розеткой оросителя и верхним уровнем складированной продукции принято 0,9 м. Оросители установлены с сеткой 3,0×3,0 м. Минимальный расход диктующего оросителя $q_{\text{дикт}}$ составляет 9,7 л/с.

Для расчета параметров ПДВ приняты следующие исходные данные: высота незадымляемой зоны $Z = 2,5$ м от пола помещения; горючая нагрузка – резина (теплота сгорания $Q_p = 36\,000$ кДж/кг, удельная скорость выгорания $\psi_{\text{уд}} = 0,0112$ кг/(м²·с)); площадь очага пожара $F_{\text{г}} = 9$ м²; площадь помещения $F_{\text{пом}} = 3000$ м²; периметр ограждающих конструкций $L_{\text{ок}} = 220$ м; температура воздуха в помещении $t_{\text{в}} = 20$ °С; температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = 20$ °С; высота помещения от пола до места выброса продуктов горения $H_{\text{п.г}} = 14$ м. Расчет параметров ПДВ для включения в модель пожара проводился согласно Р НП «АВОК» 5.5.1–2018²⁴. В результате расчета определены следующие основные параметры ПДВ: площадь проема дымоудаления – 2,1 м², часовой объемный расход удаляемых продуктов горения – 26 220 м³/ч.

Расчет необходимого времени эвакуации людей. Для оценки влияния спринклерной АУПТ и ПДВ на необходимое время эвакуации людей выполнено два расчета времени задымления помещения склада с высокостеллажным хранением: без применения указанных систем и с применением только ПДВ, запуск которой осуществляется от ДПИ.

По сценарию загорание происходит на нижнем ярусе одного из стеллажей. В результате моделирования установлено, что при времени моделирования 100 с температура конвективной колонки достигала максимального значения 720 °С, что значительно превышает температуру воспламенения принятой пожарной нагрузки (рис. 2). Воспламенение находящейся на соседних стеллажах пожарной нагрузки происходило через 50 с от начала горения.

Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 62 с от начала горения и 74 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения и поля распределения видимости в вышеуказанные моменты времени в горизонтальной плоскости помещения приведена на рисунке 3.

¹⁹ Ороситель спринклерный быстродействующий повышенной производительности «СОБР» [Электронный ресурс] / Спецавтоматика – системы автоматического пожаротушения. – Режим доступа: <https://sa-biysk.ru/upload/iblock/cfa/СОБР.pdf>. – Дата доступа: 29.06.2021.

²⁰ Ороситель спринклерный и дренчерный водяной «СВВ», «СВН», «ДВВ», «ДВН» [Электронный ресурс] / Спецавтоматика – системы автоматического пожаротушения. – Режим доступа: <https://sa-biysk.ru/upload/iblock/76a/СВВ-СВН.ДВВ-ДВН.pdf>. – Дата доступа: 29.06.2021.

²¹ См. сноску 7.

²² См. сноску 16.

²³ См. сноску 11.

²⁴ Расчет параметров противодымной защиты жилых и общественных зданий: Р НП «АВОК» 5.5.1–2018. – Введ. 01.09.18. – М.: НП «АВОК», 2018. – 74 с.

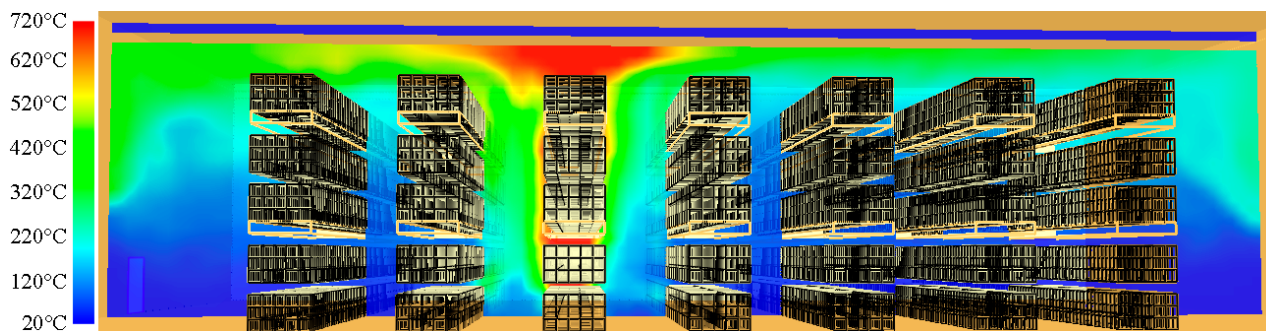
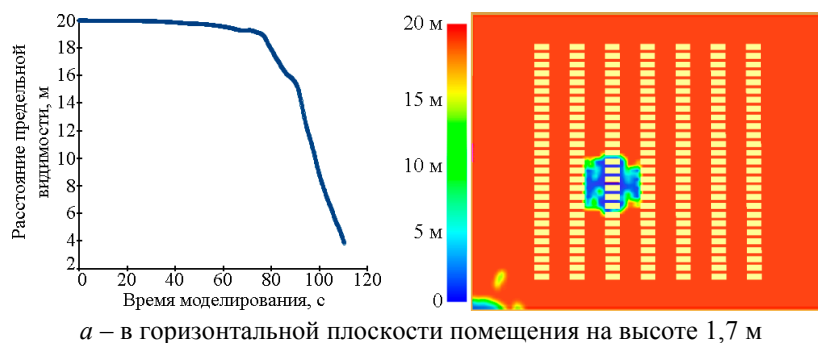
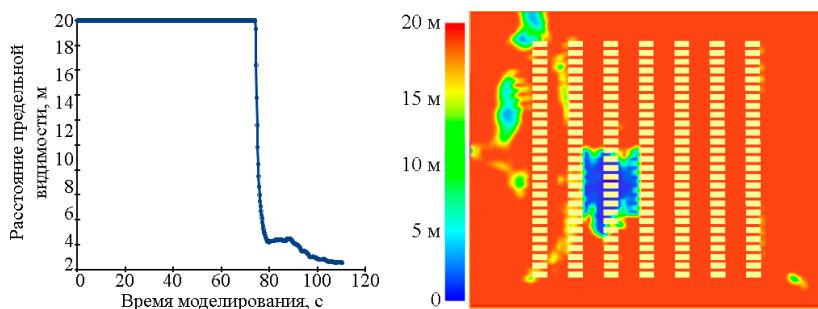


Рисунок 2. – Поле распределения температуры в помещении склада в момент достижения ее максимального значения 720 °С в перпендикулярной потолку плоскости, проходящей через очаг пожара



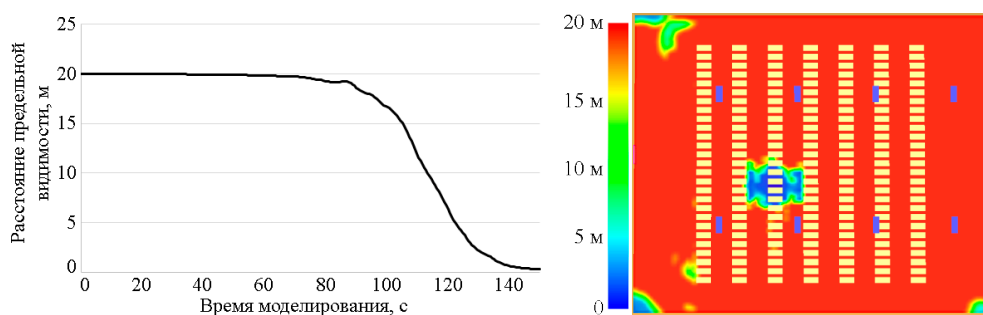
а – в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м



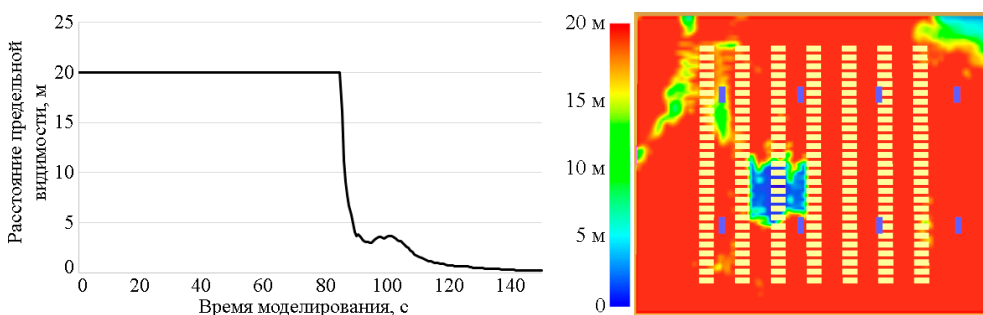
б – у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м

Рисунок 3. – Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения (слева) и поля распределения видимости (справа) в моменты наступления критического значения видимости при моделировании пожара без применения АУПТ и ПДВ

При моделировании пожара в помещении склада с применением только ПДВ, запуск которой осуществляется от ДПИ, сценарий загорания был аналогичен описанному выше. В результате установлено, что при времени моделирования 100 с температура конвективной колонки достигала максимального значения 600 °С. Воспламенение находящейся на соседних стеллажах пожарной нагрузки происходило через 50 с от начала горения. Срабатывание двух извещателей и, соответственно, автоматическое открывание дымовых люков произошло спустя 12 с от начала горения. Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 75 с от начала горения и 85 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения и поля распределения видимости в вышеуказанные моменты времени в горизонтальной плоскости помещения приведена на рисунке 4.



а – в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м



б – у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м

Рисунок 4. – Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения (слева) и поля распределения видимости (справа) в моменты наступления критического значения видимости при моделировании пожара без АУПТ, но с ПДВ

Расчет необходимого времени эвакуации при размещении оросителей во внутрискелетном пространстве. Расчет наступления критических значений расстояния предельной видимости при установке оросителей во внутрискелетном пространстве проводился при различных алгоритмах взаимодействия спринклерной АУПТ и ПДВ.

Моделирование по алгоритму запуска ПДВ от спринклерной АУПТ (сценарий 1) показало следующие результаты. Срабатывание первого спринклерного оросителя, находящегося наиболее близко к очагу пожара, произошло через 8 с (рис. 5).

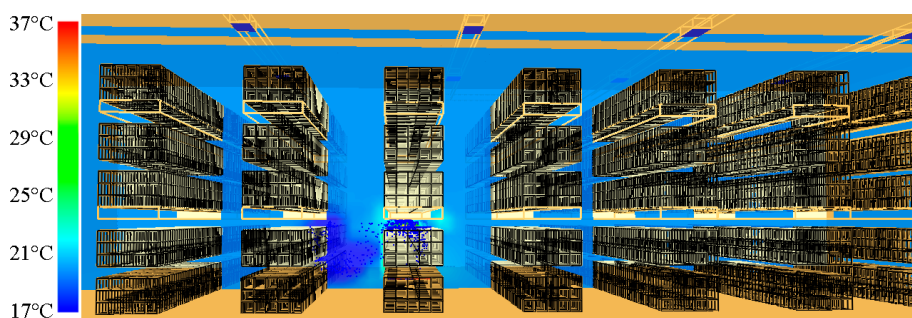


Рисунок 5. – Поле распределения температуры в момент срабатывания первого оросителя в перпендикулярной потолку плоскости, проходящей через очаг пожара

После срабатывания АУПТ по заложенному алгоритму автоматически открывались дымовые люки ПДВ. Всего за 600 с моделирования сработал 1 ороситель, а температура конвективной колонки не превышала 100 °С. После срабатывания оросителя температура на поверхности стеллажей не превышала 26 °С и воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло. Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 49 с от начала горения и 148 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Следует отметить, что после срабатывания оросителя в зоне его размещения происходит резкое опускание слоя дыма и он поступает в верхнюю часть помещения позже по сравнению с вариантом без АУПТ и ПДВ.

При моделировании пожара и взаимодействия АУПТ и ПДВ по 2-му сценарию получены следующие результаты. Срабатывание двух извещателей и, соответственно, автоматическое открывание дымовых люков произошло по истечении 12 с от начала горения. Первый спринклерный ороситель, находящийся наиболее близко к очагу горения, сработал спустя 8 с. Всего за 600 с моделирования сработал 1 ороситель. Температура конвективной колонки не превышала 43 °С, т.е. была ниже температуры воспламенения пожарной нагрузки (265 °С для РТИ). Температура на поверхности соседних стеллажей не превышала 25 °С и, соответственно, воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло. Динамика распределения дыма в объеме помещения была аналогична расчетному сценарию 1. Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 34 с от начала горения и 61 с у эвакуационного выхода в той же плоскости.

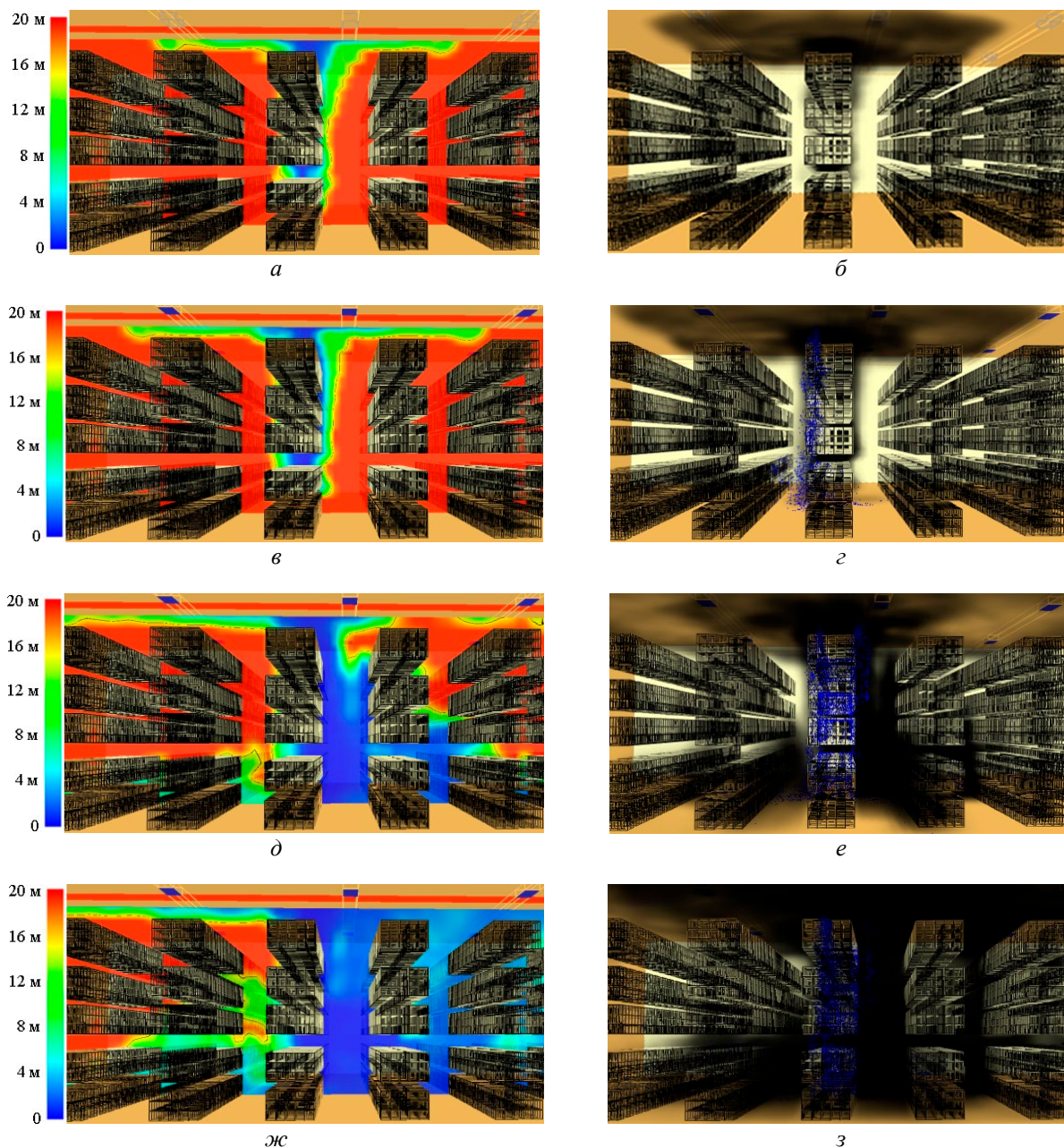
Расчет необходимого времени эвакуации при размещении оросителей АУПТ под перекрытием по всей площади помещения. Расчет наступления критических значений расстояния предельной видимости при размещении оросителей АУПТ только под перекрытием по всей площади помещения проводился при различных алгоритмах взаимодействия спринклерной АУПТ и ПДВ. Моделирование по первому алгоритму запуска ПДВ от спринклерной АУПТ (сценарий 3) показало следующие результаты. Спустя 27 с от начала горения произошло одновременное срабатывание двух спринклерных оросителей, находящихся наиболее близко к очагу горения.

После срабатывания АУПТ по заложенному алгоритму автоматически открывались дымовые люки ПДВ. Далее происходило постепенное срабатывание оросителей, установленных вблизи очага пожара. Всего за 600 с моделирования сработало 13 оросителей. Температура конвективной колонки не превышала 165 °С. После срабатывания оросителей температура на поверхности стеллажей не превышала 35 °С и воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло. При срабатывании оросителей в зоне их размещения произошло резкое опускание припотолочного слоя дыма (рис. 6). Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 37 с от начала горения и 61 с у эвакуационного выхода в той же плоскости.

Моделирование по второму алгоритму запуска ПДВ от спринклерной АУПТ при размещении оросителей только под перекрытием по всей площади помещения (сценарий 4) показало следующие результаты. Срабатывание двух извещателей и, соответственно, автоматическое открывание дымовых люков произошло спустя 12 с от начала горения. Первые два оросителя, находящиеся наиболее близко к очагу горения, сработали через 27 с, а затем постепенно происходило срабатывание оросителей, установленных рядом.

Всего за 600 с моделирования сработало 34 оросителя. Температура конвективной колонки достигала 365 °С, т.е. превышала температуру воспламенения пожарной нагрузки (265 °С для РТИ). Вместе с тем за счет срабатывания большого количества оросителей температура на поверхности стеллажей не превышала 50 °С и воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло.

Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 38 с от начала горения и 51 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Динамика распределения дыма в объеме помещения была аналогична расчетному сценарию 3, т.е. при срабатывании оросителей в зоне их размещения происходило резкое опускание припотолочного слоя дыма.



a, б – перед срабатыванием первых двух оросителей; *в, г* – в момент срабатывания первых двух оросителей; *д, е* – в момент срабатывания четырех оросителей; *ж, з* – в момент срабатывания шести оросителей

Рисунок 6. – Поля распределения видимости (*a, в, д, ж*) в перпендикулярной потолку плоскости, проходящей через очаг пожара, и распределение дыма (*б, г, е, з*) при срабатывании оросителей при моделировании по сценарию 3 (с размещением оросителей под перекрытием по всей площади помещения, запуск ПДВ осуществляется от АУПТ)

Заключение

Результаты проведенного численного моделирования обобщены и представлены в таблице 1. Согласно проведенным расчетам размещение оросителей во внутрискелетном пространстве (сценарии 1 и 2) позволяет существенно снизить мощность пожара по сравнению с вариантами размещения оросителей только под перекрытием (сценарии 3 и 4): более чем в 5 раз при запуске ПДВ от АУПТ и почти в 20 раз при запуске ПДВ от ДПИ. Более быстрое нарастание мощности пожара при расчетном сценарии 4 по сравнению с иными сценариями может быть связано с тем, что при включении ПДВ в помещении возникает активное движение газообразных веществ, в том числе кислорода в воздухе, что приводит к увеличению

интенсивности горения. Высокая мощность пожара является причиной срабатывания большего количества оросителей, что, в свою очередь, приводит к тому, что дым, находящийся в факеле разбрызгивания оросителя, опускается в нижнюю часть помещения. По этой причине блокирование путей эвакуации происходит значительно быстрее по сравнению с вариантами защиты помещения только с использованием ПДВ либо без применения как АУПТ, так и ПДВ (табл. 1).

Таблица 1. – Результаты численного моделирования пожара в помещении склада

Параметр	Склад без АУПТ и ПДВ	Склад без АУПТ, но с ПДВ	Расчетный сценарий			
			1	2	3	4
Время срабатывания ПДВ, с	–	12	8	12	27	12
Время срабатывания первого оросителя, с	–	–	8	8	27	27
Время потери видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м, с	62	75	49	34	37	38
Время потери видимости у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м, с	74	85	148	61	61	51
Мощность пожара, МВт	360,0	134,0	1,5	1,4	8,2	27,0
Максимальная температура в конвективной колонке, °С	720	600	26	43	165	365
Количество сработавших оросителей за время моделирования (600 с)	–	–	1	1	13	34
Время от начала горения, спустя которое происходит возгорание соседних стеллажей, с	50	50	Не произошло	Не произошло	Не произошло	Не произошло

Например, на рисунке 7 представлены поля распределения предельной видимости в горизонтальной плоскости на высоте 1,7 м от пола помещения в момент времени 62 с от начала горения, т.е. в момент блокирования путей эвакуации при отсутствии АУПТ и ПДВ в помещении склада.

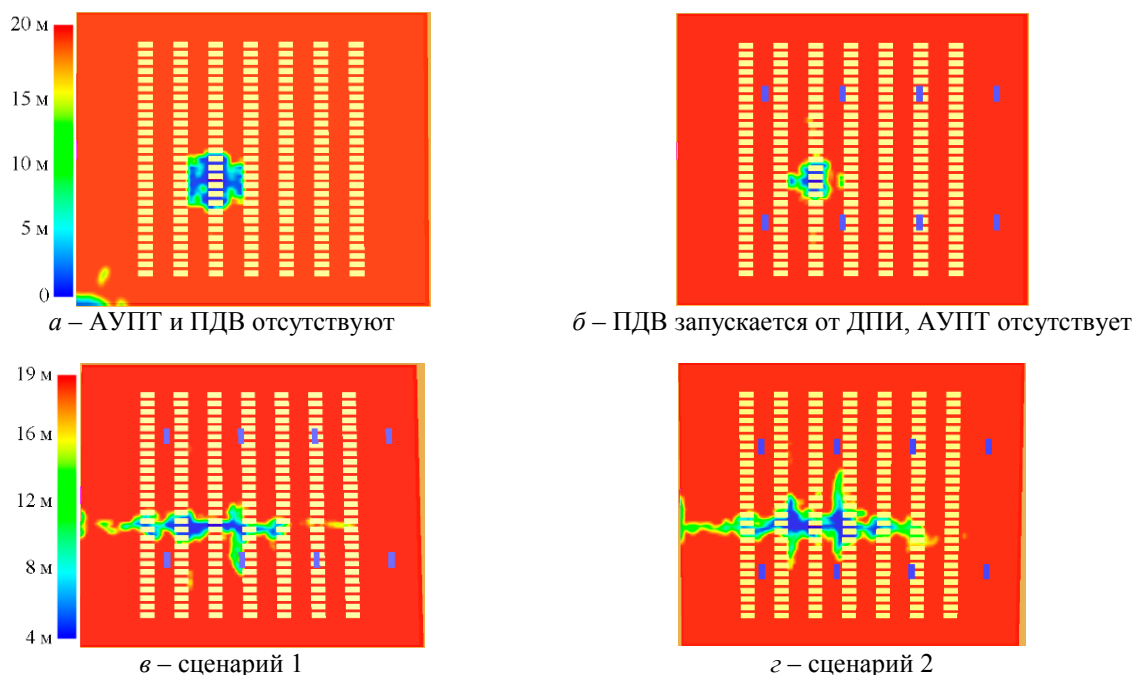


Рисунок 7. – Поля распределения предельной видимости в горизонтальной плоскости на высоте 1,7 м от пола помещения в момент времени 62 с от начала горения

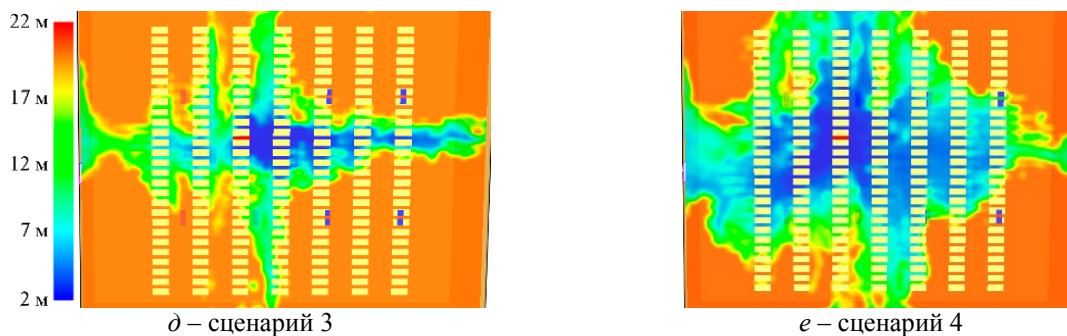


Рисунок 7. – Поля распределения предельной видимости в горизонтальной плоскости на высоте 1,7 м от пола помещения в момент времени 62 с от начала горения

Применение оросителей во внутрестеллажном пространстве и, соответственно, запуск ПДВ от АУПТ (сценарий 1) позволяет увеличить время блокирования путей эвакуации в среднем в 1,3 раза по сравнению с вариантами, где ПДВ запускается от ДПИ (сценарии 2 и 4) либо от АУПТ с размещением оросителей под перекрытием (сценарий 3). Более того, при использовании алгоритма запуска ПДВ от АУПТ с расположением оросителей во внутрестеллажном пространстве (сценарий 1) потеря видимости у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м наступает в 1,7–2,9 раза дольше по сравнению со всеми остальными указанными в таблице 1 способами защиты помещения склада.

Таким образом, на основе результатов моделирования пожара при различных алгоритмах взаимодействия АУПТ и ПДВ можно сделать вывод, что оптимальным алгоритмом взаимодействия указанных автоматических систем безопасности при защите складов с высокостеллажным хранением является установка оросителей АУПТ во внутрестеллажном пространстве и запуск ПДВ от АУПТ. Необходимо подчеркнуть, что при такой схеме защиты за счет быстрой локализации горения не происходит воспламенения соседних стеллажей в помещении. Также использование предложенной схемы защиты помещения склада с высокостеллажным хранением позволяет эффективно сдерживать нарастание мощности пожара, а абсолютное значение данного параметра одно из самых низких в сравнении с иными алгоритмами взаимодействия АУПТ и ПДВ. Более того, как отмечалось ранее, защита склада по сценарию 1 способствует увеличению времени блокирования путей эвакуации и эвакуационного выхода продуктами горения и термического разложения в сравнении с остальными сценариями взаимодействия АУПТ и ПДВ.

Также в разрезе обсуждаемой темы влияния ПДВ на время срабатывания спринклерной АУПТ следует отметить, что, исходя из результатов выполненного в данной работе численного моделирования (табл. 1), включение ПДВ от ДПИ (сценарий 4) не влияет на время срабатывания первого спринклерного оросителя в сравнении с запуском ПДВ от АУПТ (сценарий 3), что согласуется с ранее полученными результатами ряда исследователей [3–5].

Таким образом, в результате численного моделирования пожара в помещении склада с высотным складированием материалов в программном комплексе FDS показано, что оптимальным алгоритмом взаимодействия спринклерной АУПТ и ПДВ является установка оросителей АУПТ только во внутрестеллажном пространстве и запуск ПДВ от АУПТ. Данная схема защиты позволяет локализовать очаг пожара без распространения на соседние стеллажи и удерживать его мощность на минимальном уровне, а также увеличить время блокирования продуктами горения и термического разложения путей эвакуации людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мешман, Л.М. Влияние системы противодымной вентиляции на работу автоматических установок пожаротушения / Л.М. Мешман // АВОК. – 2016. – № 4. – С. 32–37.

2. Thomas, P.H. Design of roof-venting systems for single-storey buildings / P.H. Thomas, P.L. Hinkley. – London: HMSO, 1971.
3. Hinkley, P.L. Sprinklers and Vents Interaction. Experiments at Ghent / P.L. Hinkley [et al.] // Fire Surveyor. – 1992. – P. 18–23.
4. Hinkley, P.L. The Effect of Vents on the Opening of the First Sprinklers / P.L. Hinkley // Fire Safety Journal. – 1986. – Vol. 11, Iss. 3. – P. 211–225. DOI: 10.1016/0379-7112(86)90064-0.
5. Cooper, L.Y. Smoke and Heat Venting / L.Y. Cooper // Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. – 3rd ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – Ch. 3. – P. 3-236–3-240.
6. Cooper, L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment. Phenomena and model simulations / L.Y. Cooper // Fire Safety Journal. – 1995. – Vol. 25, Iss. 2. – P. 89–107. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00037-2.
7. Cooper, L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment / L.Y. Cooper // International Journal Heat and Mass Transfer. – 1995. – Vol. 38, Iss. 4. – P. 679–690. DOI: 10.1016/0017-9310(94)00188-2.
8. McGrattan, K. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD) / K. McGrattan, S. Miles // Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. – 4th ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – Ch. 3. – P. 3-229–3-247.
9. Дектерев, А.А. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях / А.А. Дектерев [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – № 4. – С. 49–58.
10. Рыжков, А.М. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях. Методические рекомендации / А.М. Рыжов [и др.]. – М.: ВНИИПО, 2002. – 35 с.
11. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. – 118 с.
12. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. 2. – 774 с.

Влияние алгоритма взаимодействия автоматических установок пожаротушения и противодымной вентиляции на время блокирования эвакуационных путей и эффективность локализации пожара в помещениях высокостеллажного хранения
Influence of the algorithm of interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents on the time of blocking emergency exits and the efficiency of fire localization in high-rack storage warehouses

Суриков Андрей Валерьевич

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра организации службы, надзора и правового обеспечения, начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

Andrey V. Surikov

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Organization of Service, Supervision and Law Support, Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

Калантарли Агаверди Тахир оглы

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», факультет подготовки руководящих кадров, магистрант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Email: agaverdi.kalantarli.95@mail.ru

Agaverdi T. Kalantarli

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Administration Training Faculty, graduate student

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

Email: agaverdi.kalantarli.95@mail.ru

Рябцев Виталий Николаевич

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

Vitaly N. Ryabtsev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic Safety Systems, Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

Лихоманов Алексей Олегович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic Safety Systems, Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.387>

INFLUENCE OF THE ALGORITHM OF INTERACTION OF AUTOMATIC EXTINGUISHING SYSTEMS AND HEAT AND SMOKE VENTS ON THE TIME OF BLOCKING EMERGENCY EXITS AND THE EFFICIENCY OF FIRE LOCALIZATION IN HIGH-RACK STORAGE WAREHOUSES

Surikov A.V., Kalantarli A.T., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O.

Purpose. On the basis of numerical modeling of fire to determine the optimal algorithm of the interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents in terms of blocking the emergency exits and the efficiency of fire localization in the high-rack storage warehouse.

Methods. In the work theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison) are applied, as well as numerical modeling is carried out in the computational software package Fire Dynamics Simulator.

Findings. The numerical modeling of fire in the high-rack storage warehouse with dimensions of 60×50×14 m and a storage height of fire load of 12.5 m was carried out. In the result of the modeling, the optimal algorithm of the interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents in terms of blocking emergency exits and the efficiency of fire localization was determined: sprinklers are placed only in the space inside the rack, while the heat and smoke vent are triggered by a signal from the automatic extinguishing system. This protection scheme allows localizing the fire site without spreading to neighboring racks and keeping its power at a minimum level. Moreover, it allows increasing the time of blocking by products of combustion and thermal decomposition in the horizontal plane of the room at a height of 1.7 m the emergency exits on average 1.3 times and an evacuation exit by 1.7–2.9 times in comparison with other algorithms of interaction of the automatic extinguishing systems and heat and smoke vents.

Application field of research. The results can be used to determine the algorithms of the interaction of the automatic fire safety systems for protecting the high-rack storage warehouses.

Keywords: automatic extinguishing system, heat and smoke vent, high-rack storage warehouse, visibility in fire smoke, emergency exit, numerical modeling.

(The date of submitting: July 29, 2021)

REFERENCES

1. Meshman L.M. Vliyanie sistemy protivodymnoy ventilyatsii na rabotu avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya [Influence of smoke ventilation on operation of automatic fire extinguishing units]. *ABOK*. 2016. No. 4. Pp. 32–37. (rus)
2. Thomas P.H., Hinkley P.L. *Design of roof-venting systems for single-storey buildings*. London: HMSO, 1971.
3. Hinkley P.L., Hansell G., Marshall N.R., Harrison R. Sprinklers and Vents Interaction. Experiments at Ghent. *Fire Surveyor*. 1992. Pp. 18–23.
4. Hinkley P.L. The Effect of Vents on the Opening of the First Sprinklers. *Fire Safety Journal*. 1986. Vol. 11, No 3. Pp. 211–225. DOI: 10.1016/0379-7112(86)90064-0.
5. Cooper L.Y. Smoke and Heat Venting. Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 3rd ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. 2008. Ch. 3. Pp. 3-236–3-240.
6. Cooper L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment. Phenomena and model simulations. *Fire Safety Journal*. 1995. Vol. 25, No. 2. Pp. 89–107. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00037-2.
7. Cooper L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment. *International Journal Heat and Mass Transfer*. 1995. Vol. 38, No. 4. Pp. 679–690. DOI: 10.1016/0017-9310(94)00188-2.
8. McGrattan K., Miles S. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD). Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 4th ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. 2008. Ch. 3. Pp. 3-229–3-247.
9. Dekterev A.A., Gavrilov A.A., Litvintsev K.Yu., Amel'chugov S.P., Seregin S.N. Modelirovanie dinamiki pozharov v sportivnykh sooruzheniyakh [Simulation of the dynamics of fires in sports facilities]. *Fire safety*. 2007. No. 4. Pp. 49–58. (rus)

10. Ryzhkov A.M. [et al.]. *Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyakh. Metodicheskie rekomendatsii* [Application of the field method for mathematical modeling of indoor fires. Guidelines]. Moscow: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2002. 35 p. (rus)
11. Koshmarov Yu.A. *Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Prediction of hazardous factors of fire in a room]: textbook. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia. 2000. 118 p. (rus)
12. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.A. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing]: handbook: in 2 parts. 2nd ed., revised. Moscow: Association «Pozhnauka». 2004. Part 2. 774 p. (rus)