

Научная статья

УДК 658.785, 614.842.6, 614.844.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-117-132

О ПРОБЛЕМЕ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ВЫСОКОСТЕЛЛАЖНЫХ СКЛАДОВ

Танклевский Леонид Тимофеевич.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

Аракчеев Александр Валерьевич.

ООО ФНПП «ГЕФЕСТ», Ленинградская обл., Тосненский р-н, пгт Форносово.

✉ Таранцев Александр Алексеевич.

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук,

Санкт-Петербург, Россия

✉ t_54@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности конструкции высокостеллажных складов как важной составляющей логистических цепочек перемещения продукции. Приведена классификация складов, их конструктивные особенности и нормативные документы, регламентирующие их функционирование. Рассмотрена проблема пожароопасности высокостеллажных складов с учётом особенностей развития пожара и его повышенного ранга. Показана возможность сдерживания и тушения пожара с использованием автоматических установок водяного пожаротушения с принудительным пуском. Установлено, что проблему тушения высокостеллажного склада необходимо решать в комплексе с учётом как работы автоматических установок, так и последующих действий прибывших пожарных подразделений. Приведены основные положения плана тушения пожара высокостеллажного склада и особенности тактики тушения. Сделан вывод о целесообразности разработки специального нормативного документа – рекомендаций по тушению пожаров высокостеллажных складов и приведена его структура.

Ключевые слова: высокостеллажный склад, пожар, автоматическая установка водяного пожаротушения, тактика тушения

Для цитирования: Танклевский Л.Т., Аракчеев А.В., Таранцев А.А. О проблеме тушения пожаров высокостеллажных складов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 4 (76). С. 117–132. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-117-132.

Scientific article

ON THE PROBLEM OF EXTINGUISHING FIRES IN HIGH-RISE WAREHOUSES

Tanklevsky Leonid T.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia.

Arakcheev Alexander V.

FNPP «GEFEST» LLC, Leningrad region, Tosnensky district, Fornosovo village.

✉ Tarantsev Alexander A.

Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences;

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ t_54@mail.ru

Abstract. The article discusses the design features of high-rise warehouses as an important component of logistics chains for product movement. It provides a classification of warehouses, their design features, and regulatory documents governing their operation. The article also addresses the issue of fire hazards in high-rise warehouses, taking into account the specific characteristics of fire development and its elevated rank. The article demonstrates the potential for fire containment and suppression using automatic water-based fire extinguishing systems with forced activation. It establishes that the problem of fire suppression in high-rise warehouses requires a comprehensive approach, considering both the operation of automatic systems and the subsequent actions of arriving fire departments. The main provisions of the fire-extinguishing plan for a high-rise warehouse and the features of fire-extinguishing tactics are presented. It is concluded that it is expedient to develop a special regulatory document – recommendations for extinguishing fires in high-rise warehouses, and its structure is presented.

Keywords: high-rise warehouse, fire, automatic water fire extinguishing system, fire extinguishing tactics

For citation: Tanklevsky L.T., Arakcheev A.V., Tarantsev A.A. On the problem of extinguishing fires in high-rise warehouses // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 4 (76). P. 117–132. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-117-132.

Введение

Актуальность данной статьи обусловлена следующими обстоятельствами. Во-первых, интенсивным развитием мировой экономики, предполагающий производство большого количества товаров, их перемещение, складирование и последующую отгрузку¹ в рамках соответствующих логистических цепочек (рис. 1).

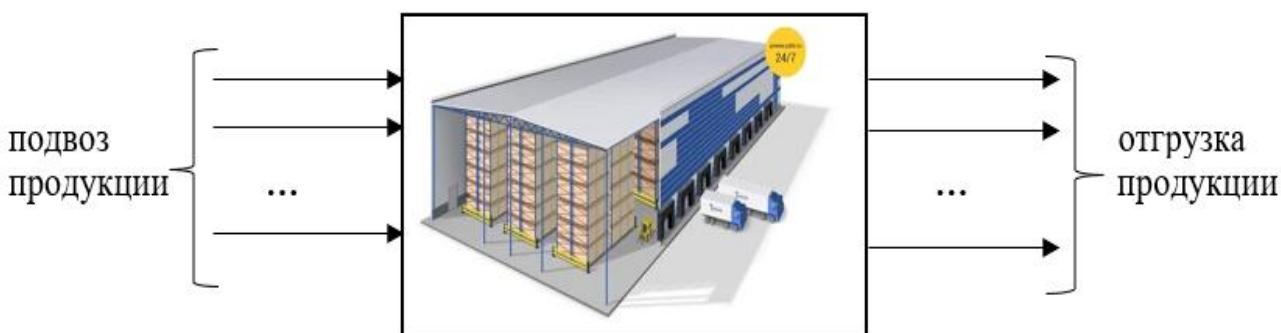
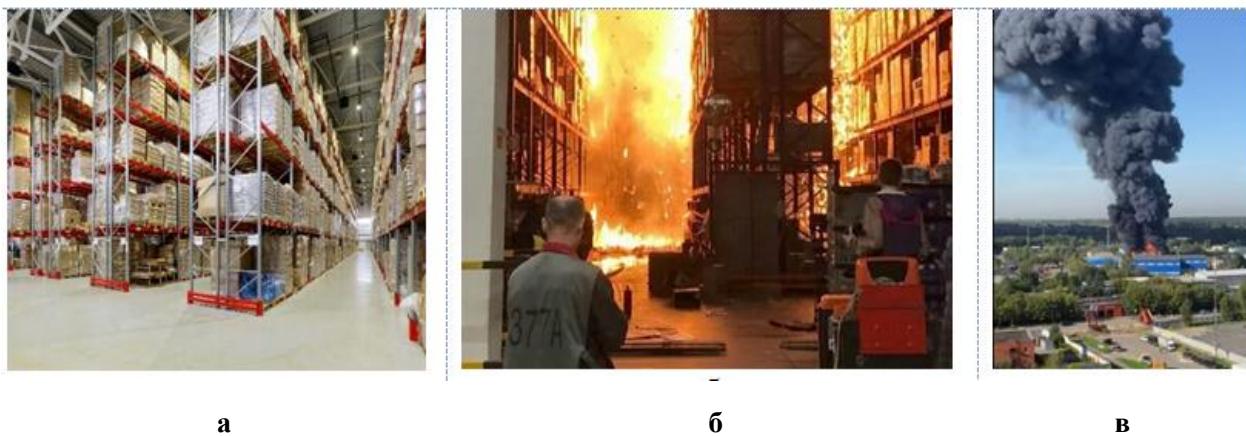


Рис. 1. Высокостеллажный склад (BCC) как элемент логистических цепочек

¹ Спрос на склады в России достиг максимального уровня за 10 лет // Ведомости. 2020. 18 февр.

Во-вторых, максимальное использование объёмов складских помещений с целью снижения затрат, что предполагает высокостеллажное складирование продукции (рис. 2 а) в соответствии действующими нормативными документами². В-третьих, высокий риск пожаров на складах (рис. 2 б), чреватый большими материальными потерями, опасностью для персонала склада и третьих лиц, а также значительный экологический ущерб для прилегающей территории. Статистика о пожарах по повышенному номеру (площадь пожара выше 10 тыс. м²) приведена в табл. 1.



**Рис. 2. Склад с высокостеллажным размещением продукции (а)
и пожары данных складов (б, в³)**

Таблица 1

Пожары площадью 10 тыс. м² и более на складах Российской Федерации (по данным⁴)

| Дата и место | Сведения о пожаре на складе |
|--|--|
| 10.09.2025, пос. Некрасовский, Московская обл. | В 12.00 загорелся складской комплекс «Катуар». Площадь пожара 15 тыс. м ² . Произошло обрушение. К тушению привлечены 70 пожарных и 23 ед. техники, вертолёт Ми-8 |
| 31.08.2025 Московская обл., МКР «Новый свет» | Пожар на складе в Московской обл., МКР «Новый свет» (рис. 2-в), S _{пож} более 4 тыс. м ² . В тушении по повышенному номеру задействовались 80 пожарных, 30 ед. техники и 2 вертолёта. Пожар длился несколько часов и уничтожил автомобили на прилегающей территории |
| 07.06.2025, г. Пушкино, Подмосковье | Загорелся склад с поддонами, ЛВЖ и газовыми баллонами на площади 8,1 тыс. м ² , позже площадь пожара увеличилась до 21 тыс. м ² . Кровля обвалилась на площади 13 тыс. м ² . На тушение привлечены более 50 пожарных и 12 ед. техники. Проводился замер воздуха на предмет превышения ПДК |
| 23.01.2025, г. Клин, Московская обл. | Загорелся склад на Волоколамском шоссе. Площадь пожара 10 тыс. м ² . К ликвидации пожара привлечены 40 пожарных и 12 ед. техники |
| 13.01.2024, Пушкинский р-н Санкт-Петербурга | Загорелся склад маркетплейса Wildberries. Возгорания локализовали на площади 70 тыс. м ² , на площади 40 тыс. м ² произошло обрушение кровли. 14 января МЧС России сообщило о ликвидации открытого горения. Как сообщили в пресс-службе торговой площадки, при пожаре пострадали 2 чел., им оказана необходимая медицинская помощь |

² СП 56.13330.2021. Свод правил. Производственные здания; ГОСТ Р 59282–2020. Системы управления складом. Функциональные требования; ГОСТ Р 55525–2017. Складское оборудование. Стеллажи сборно-разборные. Общие технические условия; ГОСТ Р 57381 2017. Складское оборудование. Стеллажи полочные. Общие технические условия; ГОСТ Р 59912–2021. Складское оборудование. Мезонины складские на колоннах. Общие технические условия. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

³ В Балашихе сотрудники МЧС локализовали масштабный пожар на складе // Новости Mail.

⁴ Крупные пожары на складах в России в 2024–2025 годах // РИА Новости. 2025. 18 апр.

| Дата и место | Сведения о пожаре на складе |
|--|---|
| 22.02.2023, г. Красноярск | На ул. Свердловской загорелся склад, на котором хранилась партия холодильников. Пожарные ликвидировали открытое горение на следующий день на площади 13,2 тыс. м ² . Информация о пострадавших не поступала |
| 03.08.2022, дер. Петровское, Истринский р-н Моск. обл. | Крупный пожар на складском комплексе онлайн-ретейлера OZON. Площадь горения составляет 50 тыс. м ² . Персонал численностью около 1 тыс. чел. эвакуирован. По данным Центра медицины катастроф, погиб 1 чел., пострадали 13, двое из них госпитализированы. Компания сообщила, что возместит утраченные заказы и товары покупателям и продавцам |
| 03.05.2022, пос. Обухово Богородского р-на Моск. обл. | Пожар на одном из складов «Атлант-парк», арендованном для хранения печатной продукции и учебников издательством «Просвещение». Площадь возгорания 33,8 тыс. м ² , произошло обрушение конструкций склада. К тушению были привлечены 109 пожарных и 37 ед. техники. Пострадавших не было. О сумме ущерба и причинах возгорания не сообщалось |
| 07.12.2021, дер. Деньково Моск. обл. | Пожар площадью 10 тыс. м ² в одноэтажном складском здании на территории промзоны. На складе хранились стройматериалы и 20 газовых баллонов. Произошло обрушение кровли и одной из стен здания. В тушении участвовали 80 пожарных и около 30 ед. техники. После локализации пожара обнаружено тело погибшего рабочего строительной организации |
| 22.04.2021, г. Биробиджан | Пожар на складе пиломатериалов по 2-му номеру сложности. Площадь возгорания составила 15 тыс. м ² . Пожар был потушен спустя почти 4 сут. Перехода огня на объекты экономики и жилые дома не допущено |
| 16.05.2019, пос. Острино Ленинградской обл. | Пожар на складе с цистернами с горюче-смазочными материалами. Огонь охватил склады, хозяйственные постройки и строительные вагончики на площади 12 тыс. м ² . Ликвидацией пожара занимались более 50 пожарных и 14 ед. техники, пострадавших не было |
| 03.12.2019, СПб., Пушкинский р-н | Пожар в ангаре на площади 15 тыс. м ² . Тушили 220 пожарных, 49 ед. техники и 2 пожарных поезда. Ангар обрушился |
| 08.10.2017, Одинцовский р-н Моск. обл. | Пожар на складе ТЦ «Синдика» (56-й км МКАД), фактически являвшемся крытым строительным рынком. Пострадали 3 чел., площадь возгорания 55 тыс. м ² . Ликвидировать открытое горение удалось только 9 октября. Версии причин возгорания: поджог и нарушение техники безопасности. Рынок принадлежал компании ООО «Синдика-О», зарегистрированной в Моск. обл. |
| 16.08.2017, п-н Северное Медведково, Москва | Крупный пожар на складе по адресу ул. Полярная, д. 31А. Площадь возгорания, составила 15 тыс. м ² . Пожару был присвоен сначала 2-й, а затем 3-й ранг сложности, огнем уничтожены три четверти здания. На складе хранились канистры с нефтехимией и лакокрасочные изделия. Пожар удалось потушить только на следующий день, пострадавших не было |
| 10.12.2015, Тушинский машино- строительный завод, Москва | Загорелось 6-этажное складское здание, где хранилась бытовая химия. Площадь пожара достигала 15 тыс. м ² , ему присвоен 4-й ранг сложности. Внутри здания произошла серия взрывов, обрушилась кровля. Жертв и пострадавших не было. Представители завода заявили, что производственные мощности предприятия от огня не пострадали. Предварительные причины пожара: неисправность электропроводки и нарушение техники безопасности при сварочных работах. |
| 17.10.2015, промзона «Парнас», Санкт-Петербург | Пожар по наивысшему 5-му рангу сложности на складе с машинным маслом и автозапчастями. Площадь горения составила около 10 тыс. м ² , на складе частично обвалилась кровля на площади 3 тыс. м ² . Пожар потушен только 19 октября, в тушении задействован вертолет. Жертв и пострадавших нет |

К настоящему времени сложилась классификация складских комплексов, предполагающая их разделение на категории А+, А, В+, В, С и D (табл. 2) и отечественная нормативная база в части обеспечения пожарной безопасности (ПБ)⁵, в частности, складов.

⁵ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 2 июля 2008 г. № 123-ФЗ; СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты; СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

Вопросами тушения пожаров на складах занимается пожарная тактика⁶ [1], вопросам развития пожара на ВСС посвящены публикации [2–9, 19–30] а разработке и применению автоматических установок пожаротушения (АУП) посвящены публикации [10–18], а также изобретения: патенты Российской Федерации 149795U1, 2610812C1, 2692901C1, 2692897C1. При этом, в отличие от большого числа публикаций в части АУП, практически отсутствуют научные статьи об особенностях действий пожарных подразделений по тушению ВСС.

Таблица 2

Классификация складских комплексов (с учётом^{7,8)}

| Категория | Высота | Температурные режимы хранения | Охрана и безопасность | Системы вентиляции и кондиционирования | Обеспеченность электроэнергией и водоснабжением |
|-----------|-------------------------------|---|---|--|---|
| A+ | От 13 м, 6-7 ярусное хранение | Для всех видов товаров | Круглосуточное видеонаблюдение складских комплексов, подъездных и прилегающих территорий, электронная система допуска персонала | Мульти-температурная система заморозки и охлаждения, вентиляция всех видов товаров | Автономное |
| A | От 10 м, 4-5 ярусное хранение | | Круглосуточное видеонаблюдение помещений и подъездных путей, электронная система допуска персонала | | |
| B+ | От 8 м | Хранение товаров определенных групп | Охрана въездов и выездов по периметру территории, видеонаблюдение | Работа в одном или нескольких температурных режимах | Центральное водопровод и энергоснабжение, возможность автономной работы в нештатных ситуациях |
| B | От 6 м | Хранение товаров, не требующих чётких температурных режимов | Охрана въездов и выездов по периметру территории или охранная сигнализация | Желательно | Центральное водопровод и энергоснабжение |
| C | | Хранение насыпных и навалочных грузов | Охранная сигнализация, контроль въезда и выезда | Отсутствует | |

Примечание: категория D – минимально обустроенные складские помещения

Тем не менее к настоящему времени сложилась следующая ситуация. Учитывая, что ВСС являются важными (с точки зрения хранения больших материальных ценностей) и пожароопасными объектами (большая пожарная нагрузка и невысокая степень огнестойкости, как правило, IV), для них разрабатывались планы тушения пожара (ПТП) в соответствии с рекомендациями⁹. Отработка ПТП применительно к ВСС предусматривала

⁶ Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 16 сент. 2024 г. № 777. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

⁷ 5853-klassifikaciya-skladov-2020.pdf

⁸ Классификация складских помещений (Knight Frank)

⁹ Методические рекомендации по составлению планов тушения пожаров и карточек тушения пожаров», утв. главным военным экспертом МЧС России, генерал-полковником П.В. Платом 27 февр. 2013 г. № 2-4-87-1-18 (утратили силу с 01.01.2021 г., письмо МЧС России от 16.11.2020 г. № 01 М-иД-8). Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

два или более сценариев возможных пожара на ВСС и порядок действий подразделений пожарной охраны в соответствии со сценариями. ПТП отрабатывались в ходе деловых игр и учений. В 2020 г. документ¹⁰ был отменён, а порядок разработки ПТП перенесён в Положение о пожарно-спасательных гарнизонах¹¹ (ст. 95–109) и, наконец, порядок разработки ПТП¹².

Таким образом, к настоящему времени сложилась нелепая и достаточно сложная ситуация. Во-первых, ВСС содержат большие материальные ценности, имеют невысокую степень огнестойкости и являются категорируемыми объектами. Во-вторых, пожары на ВСС – событие не очень частое, в отличие, например, от пожаров в жилом секторе, в тушении которых пожарными накоплен большой опыт. В-третьих, основное внимание в противопожарной защите уделяется АУП, а пожарным приходится каждый раз импровизировать при тушении таких сложных и опасных, но не очень частых пожаров, поскольку пожарная охрана на настоящий момент лишена такого важного документа, как ПТП. В-четвёртых, пожары ВСС имеют отрицательный социальный эффект и общественный резонанс.

С учётом вышеизложенного представляется целесообразным рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности (ПБ) ВСС в комплексе, включая этапы эксплуатации и тушения пожаров как с использованием АУП, так и пожарными подразделениями. Кроме того, необходимо хотя бы в инициативном порядке разрабатывать ПТП применительно к ВСС, а также предложить проект универсального нормативного документа – «Рекомендации по тушению пожара на ВСС». Рассмотрение этих вопросов является целью статьи.

1. Высокостеллажные склады и их пожароопасность

1.1. Конструктивные особенности ВСС

ВСС относятся к классу функциональной пожарной опасности (КФПО) Ф5.2 (это не исключает оборудования на их площади мезонинов, офисных помещений, мест хранения и зарядки электрокаров и др.), что предполагает их проектирование и строительство с учётом требуемых степеней огнестойкости, категорирование¹³ (предположительно, категория пожарной опасности В1 без учёта хранения горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и оборудования АУП¹⁴ и установками сдерживания пожара¹⁵, а также внутренним противопожарным водопроводом и сетью наружного противопожарного водоснабжения¹⁶ и/или противопожарным водоёмом. ВСС необходимо оборудовать системами оповещения и управления эвакуацией¹⁷ (СОУЭ) соответствующего типа.

¹⁰ Там же

¹¹ Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах: приказ МЧС России от 25 окт. 2017 г. № 467 (в ред. от 28 февр. 2020 г.). Приложение № 1. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

¹² Об исключении ПТП и КТП из документов предварительного планирования боевых действий: письмо МЧС России от 19 авг. 2025 г. № М-12-2149. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

¹³ СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

¹⁴ СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования; СП 241.1311500.2015. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования; ВНПБ 40-20. Автоматические установки водяного пожаротушения АУП-Гефест

¹⁵ ГОСТ Р 71080–2023. Установки сдерживания пожара водяные автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

¹⁶ СП 10.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный. Водопровод. Нормы и правила проектирования; СП 8.13130.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

¹⁷ СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

Также предполагается связать пункт управления складом прямой связью с ближайшей пожарной частью (ПЧ) и вывести на их пульт информацию о пожарных извещателях.

На этапе функционирования предполагается строгое соблюдение Правил противопожарного режима¹⁸ и требование внутренних документов в части соблюдения правил ПБ, а также подбор квалифицированного персонала, в том числе должностного лица, отвечающего за ПБ. Необходимым условием безопасной эксплуатации ВСС является составление и корректировка плана эвакуации в случае пожара или ЧС и ПТП (при наличии на некоторых ВСС) с последующей его отработкой при проведении плановых учений.

1.2. Особенности пожара на ВСС

Пожар на ВСС может возникнуть по различным причинам – от неисправности электрооборудования и нарушений при проведении ремонтных работ до привнесения внешнего источника зажигания. В любом случае он будет характеризоваться следующими особенностями:

- быстрым распространением пламени по вертикали и мощным ростом выделяемой тепловой мощности;
- опасным воздействием пламени на перекрытие вплоть до его прогорания и частичного или полного обрушения;
- потерей устойчивости каркаса стеллажей и последующим их обрушением (это особенно опасно, если стойки стеллажей являются несущими конструкциями, поддерживающими перекрытие), образованием завалов и переносом огня на соседние стеллажи;
- интенсивным задымлением объёма ВСС и быстрым опусканием нижней границы дыма до высоты, опасной для человека.

На начальной стадии пожара на ВСС активируются АУП и СОУЭ, персонал должен подать сообщение о пожаре в ПЧ, в район выезда которой входит ВСС (сдублировать сигнал от извещателей), обеспечить эвакуацию людей (особенно важно – эвакуацию с мезонинов при их наличии) и вывод из проходов электрокаров и подъёмников.

Ситуация на начальной стадии пожара может осложниться отказом или запаздыванием срабатывания АУП и СОУЭ, а также возникновением тяги при открытых створках ворот в противоположных концах ВСС. Как показывает опыт, следует учитывать ограниченную вероятность полного тушения ВСС только за счёт срабатывания АУП. Её задача, прежде всего, в сдерживании опасных факторов пожара (ОФП) до прибытия пожарных подразделений, что позволит обеспечить скорейшую локализацию пожара и его ликвидацию [1].

2. Результаты и их обсуждение

2.1. Исследования в части спринклерных АУП для ВСС

В интересах повышения ПБ применительно к ВСС был проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований. Показано, что использование АУП с принудительным пуском оросителей [12, 13], например, вышеупомянутые патенты и «Аква-Гефест» (рис. 3 а, б) сэкономит расход воды, чем снизит ущерб от сопутствующих ОФП.

¹⁸ Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»



Рис. 3. Спринклерный ороситель «Аква-Гефест» с принудительным пуском (а), его испытания (б) и формирователь потока КФСТ 714171 (в)

Разработанная АУП предполагает использование извещателей различных типов (аспирационные, дымовые, тепловые), а также формирователь потоков (рис. 3 в) с углом распыла 60° под углом к вертикали с подачей воды как на горизонтальную, так и на боковую поверхность стеллажей [12]. Если каркасы стеллажей используются в качестве опор кровли ВСС, то верхние оросители желательно направлять под углом вверх для защиты кровли от высокотемпературных продуктов горения, а отражённые потоки воды будут направляться на тушение горящего стеллажа.

По результатам исследований были сформулированы требования к минимальному давлению p_{\min} в питающей магистрали перед оросителем и к коэффициенту производительности K в зависимости от высоты складирования h_c [12] (табл. 3). Также для используемого оросителя был определен коэффициент гидравлического сопротивления оросителя $\zeta \approx 12,8$ [10].

Таблица 3

Оценки параметров АУП для ВСС

| $h_c \in (5,5; 8,0] \text{ м}$ | | $h_c \in (8,0; 15] \text{ м}$ | | $q, \text{ л/с}$ | $V_0, \text{ м/с}$ |
|--------------------------------|--|-------------------------------|--|---------------------------|------------------------------------|
| $p_{\min}, \text{ МПа}$ | $K, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^{0,5})$ | $p_{\min}, \text{ МПа}$ | $K, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^{0,5})$ | | |
| $0,012 h^2$ | 0,3 | $0,003 h^2$ | 0,6 | $\geq 10K\sqrt{p_{\min}}$ | $\sqrt{\frac{2p_{\min}}{\xi\rho}}$ |

Примечания: $\rho = 1\ 000 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность воды; ζ – коэффициент гидравлического сопротивления; V_0 – скорость потока

Дальнейшие исследования показали, что зона орошения боковой поверхности стеллажа будет иметь эллиптическую форму (рис. 4), а её параметры можно оценить с использованием расчётных моделей. В частности, площадь орошения полки S_n стеллажа можно оценить по выражению:

$$S_n = ab \left[\arcsin \frac{c_2}{b} - \arcsin \frac{c_1}{b} + \frac{c_2}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{c_2}{b} \right)^2} - \frac{c_1}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{c_1}{b} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где c_1, c_2 – уровни нижней и верхней частей полки соответственно; a, b – горизонтальная и вертикальная полуоси эллипса); площадь орошения S_B верхней части стеллажа – по выражению:

$$S_B = ab \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{h_c - b}{b} - \frac{h_c - b}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{h_c - b}{b} \right)^2} \right], \quad (2)$$

где h_c – высота складирования. Для стеллажа-опоры перекрытия очевидно: $S_B=0$.

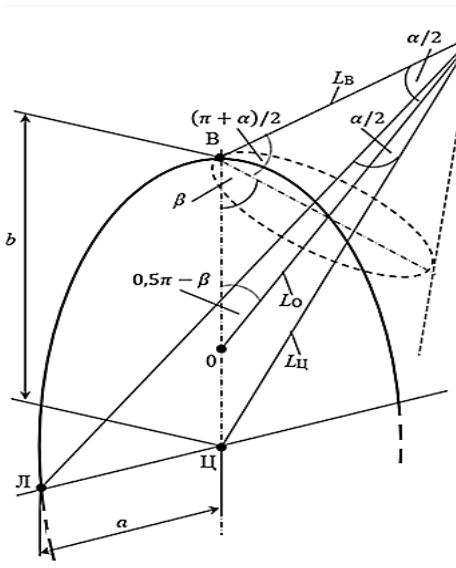


Рис. 4. Расчётная модель зоны орошения стеллажа. Обозначения: α – угол раствора оросителя; φ – угол наклона оси оросителя; O – точка пересечения оси оросителя с плоскостью стеллажа; L_0, L_B, L_{II} – расстояния; I – место расположения оросителя – источник ОТВ

Оценка параметров эллиптической площади орошения спринклером стеллажей ВСС категорий А и А+ (табл. 1) с помощью вышеприведенных моделей позволяет принять решение о многоуровневом расположении оросителей и размещения их, например, в шахматном порядке, чтобы добиться максимальной покрытия горящего стеллажа струями из оросителей АУП или/и защитить соседний стеллаж. Это, в свою очередь, ставит задачу управления активацией (принудительным пуском) оросителей АУП в зависимости от обстановки на пожаре.

Однако, при всей важности АУП, основная задача по тушению пожара [1] на ВСС и проведению неотложных аварийно-спасательных работ (АСР) будет решаться прибывающими пожарными подразделениями.

2.2. Особенности тушения ВСС пожарными подразделениями

2.2.1. При проектировании ВСС и вводе его в эксплуатацию осуществляется расчёт величины пожарного риска¹⁹ и применительно к ВСС может разрабатываться ПТП (хотя бы в инициативном порядке), учитывающий два и более вероятных сценариев возникновения пожара на ВСС. ПТП должен, как и ранее, содержать текстовую и графическую части. В текстовую часть входят:

1. Титульный лист – юридически значимый документ, включает название ВСС, наименование организации-собственника, дату утверждения и подписи ответственных лиц.
2. Оперативно-тактическая характеристика ВСС. Указываются особенности ВСС: площадь, высота здания, стеллажность, хранимая продукция, наличие опасных веществ, наличие и вольтаж электроустановок, степень огнестойкости, категория пожароопасности,

¹⁹ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 14 нояб. 2022 г. № 1140. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

режим функционирования, численность персонала и сменность работы, пути эвакуации, наличие и тип АУП, водоснабжение и др. значимая информация.

3. Прогноз развития пожара. В разделе анализируются возможные сценарии пожара, место очага пожара, скорость и пути распространения пламени и зоны повышенной опасности.

4. Действия персонала ВСС до прибытия пожарных подразделений. Раздел отрабатывается совместно с администрацией склада и включает инструкции для работников по активации АУП и СОУЭ, эвакуации, использованию средств пожаротушения и оповещению экстренных служб – пожарных, полиции, скорой медицинской помощи (СМП) и др., обесточиванию помещений ВСС.

5. Расчёт сил и средств (СиС). В разделе в соответствии с выбранными сценариями определяется динамика площади пожара $S_{\text{пож}}$ (её расчёт отличается от общепринятого в пожарной тактике [1], поскольку необходимо учитывать распространение пламени по вертикали, горение кровли, защиту несущих конструкций ВСС) и, исходя из нормативной интенсивности $I=0,1\div0,2 \text{ л}/(\text{м}^2\text{с})$ подачи воды ручными стволами РС/РСК, определяется количество стволов, численность пожарных, количество и вид привлекаемой техники (АЦ, АЛ, АШ и др.), а также время прибытия из ПЧ, в районе выезда которой находится ВСС, и из соседних ПЧ. Даётся оценка достаточности водоснабжения и действий на случай недостатка воды. В результате определяется ранг пожара (как правило, не ниже 2-го) и расписание выезда в соответствии с «Порядком привлечения СиС подразделений пожарной охраны...» (приказ МЧС России от 13 янв. 2025 г. № 19).

6. Организация тушения. Исходя из анализа объёмно-планировочных решений ВСС и проведенных расчётов СиС для учитываемых сценариев пожара, определяется решающее направление боевых действий (РНБД), количество и вид боевых участков (БУ) по размещению и видам работ (тушение, АСР и др.). Предусматривается создание штаба (куда помимо начальника штаба (НШ) и пожарных могут входить должностные лица ВСС, представители полиции, СМП и водоканала) и БУ на кровле для её защиты и вскрытия при необходимости подачи стволов на тушение верхних полок стеллажей. При необходимости создаются БУ по недопущению распространения пожара на соседние объекты.

7. Взаимодействие с экстренными службами предусматривает протокол координации действий пожарных подразделений с полицией (оцепление ВСС, регулирование движения для беспрепятственного прибытия спецтехники), СМП и др. службами жизнеобеспечения.

8. Требования охраны труда предусматривают меры безопасности²⁰ для личного состава при тушении ВСС, включая использование средств индивидуальной защиты и других защитных средств, работу на высоте, учёт риска обрушения стеллажей и падение продукции с них, другие опасные ситуации.

9. Рекомендации должностным лицам на пожаре и руководству ВСС предусматривают, исходя из особенностей ВСС, действия по нераспространению пожара (например, оборудование противопожарных занавесов, приобретение мотопомп и др.) и рекомендаций для РТП, НШ и НБУ по обеспечению наиболее эффективных действий и предотвращению травмирования участников тушения.

На последнем листе текстовой части приводятся ФИО и должности лиц, разработавших РТП. Приводится также лист учёта изменений.

Графическая часть предполагает наличие генплана ВСС (дорожная сеть и стоянки автотехники, пожарные гидранты, водоёмы, кабельные линии и др.) и внутренних планировок; для каждого сценария приводятся поэтапные схемы боевого развертывания (в том числе на момент локализации), расстановка СиС, размещения техники, штаба и БУ. Приводится совмещённый график, где в зависимости от времени откладываются площади

²⁰ Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны: приказ Минтруда России от 11 дек. 2020 г. № 881н. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

пожара $S_{\text{пож}}$ и тушения $S_{\text{тущ}}$, динамика расходов воды $Q(t)$ из стволов по мере их подачи и вывода при понижении ранга пожара.

В нормальном режиме функционирования склада ПТП отрабатывается в процессе деловых игр и пожарно-тактических учений (ПТУ) с участниками тушения. По мере перепланировок ВСС, или по результатам ПТУ, или раз в 3 года ПТП перерабатывается. Он оформляется в трех экземплярах, которые находятся в ПЧ, в отряде (ЦППС) и у администрации склада.

Тушение пожара. При поступлении сигнала о возгорании на ВСС осуществляются следующие действия. Персонал активирует АУП и СОУЭ, подаёт сообщение о пожаре в ПЧ, осуществляет эвакуацию людей и обесточивает электрооборудование. Сигнал о пожаре поступает также в ПЧ, в районе выезда которой находится ВСС, и в Единую дежурно-диспетчерскую службу (ЕДДС)²¹. В соответствии с ПТП из ПЧ на ВСС направляется пожарный караул, а ЦППС даёт команду в другие ПЧ на выезд в соответствии с расписанием выезда согласно «Порядку привлечения СиС...» [39].

Одной из важнейших задач при тушении пожара на ВСС является разведка как получение информации о складывающейся обстановке. Разведка начинается с получения информации о факте возгорания и ведётся на всём периоде тушения пожара вплоть до его ликвидации и убытия последнего пожарного автомобиля к месту постоянной дислокации.

Начальник караула в процессе следования к ВСС уже проводит разведку, получая информацию об обстановке по радиосвязи и просматривает ПТП. Ещё до прибытия к месту пожара начальник караула по цвету дыма и наличию или отсутствию открытого пламени может судить о сложности пожара. По прибытию к ВСС, начальник караула, став РТП-1, получает информацию от должностных лиц склада о месте возгорания, угрозе жизни и здоровью людям, срабатывании АУП и СОУЭ. Он также лично и/или с помощью подчинённых проводит круговую разведку, докладывает в ЦППС, принимает решение о РНБД, даёт указания по боевому развёртыванию и подаче стволов. По результатам разведки РТП-1 может принять решение о снижении ранга пожара или о его повышении.

По мере прибытия вышестоящих должностных (начальник части, начальник отряда) они становятся РТП-2, РТП-3 и т.п. По прибытии СиС в соответствии с расписанием выезда организуются боевые участки (БУ-1, БУ-2, БУ-3...) для решения поставленных задач, штаб и тыл. Оперштаб в лице НШ организует учёт СиС и связь с ЕДДС, в состав штаба также входят представители администрации ВСС и экстренных служб – полиции, СМП, водоканала. Разведка ведётся непрерывно, обеспечивая эффективность принимаемых решений, что позволяет добиться скорейшей локализации пожара на ВСС и его ликвидации.

По мере локализации пожара его ранг может понижаться по решению РТП. Высвободившиеся подразделения проводят сбор личного состава и пожарно-технического вооружения, следуют в места постоянной дислокации и восстанавливают готовность – заправка техники ГСМ, водой и др.

После ликвидации пожара оставшимися пожарными подразделениями осуществляется разборка и проливка конструкций с целью предотвращения повторного возгорания ВСС, после чего они убывают к месту постоянной дислокации и восстанавливают готовность.

С целью совершенствования уровня готовности подразделений пожарной охраны и профессиональной подготовки их личного состава осуществляется изучение хода тушения пожара ВСС и даётся оценка действиям должностных лиц. Также проводится анализ эффективности работы спринклерной АУП, по результатам которого могут приниматься необходимые организационные и технические решения.

²¹ ГОСТ Р 22.7.01–2021. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Единая дежурно-диспетчерская служба. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

2.2.2. С учётом вышеизложенного представляется целесообразным также разработать проект нового нормативного документа «Рекомендации по тушению пожара на высокостеллажных складах». Его структура может иметь следующий вид²²:

- Титульный лист (наименование документа, сведения о разработчике);
- Общие положения (для кого предназначены Рекомендации; используемые нормативные документы; список сокращений);
- Характеристика ВСС (классификация, конструктивные особенности; технологические процессы; параметры огнестойкости);
- Пожароопасность ВСС (пожарная нагрузка и её размещение; возможные сценарии пожара; противопожарная защита).

Организация тушения пожара и проведения АСР (предварительное планирование – составление и отработка использование ПТП применительно к ВСС; действия персонала на начальном этапе; срабатывание АУП и СОУЭ; действия пожарных подразделений по прибытии на пожар; взаимодействие с экстренными службами города; структура системы управления тушением пожара; меры безопасности) (Приложение 1. Права и обязанности должностных лиц на пожаре. 2. Методические указания по разработке ПТП применительно к ВСС).

Заключение

В статье рассмотрены конструктивные особенности ВСС и вопросы тушения возможного пожара, включая АУП с принудительным пуском спринклеров и последующие действия прибывающих пожарных подразделений. Значительное внимание уделено особенностям размещения спринклеров с целью эффективной подачи воды на тушение стеллажей и их защиту, а также особенностям тактики тушения ВСС. Показано, что в случае пожара совместное функционирования АУП и СиС пожарной охраны может быть обеспечена эффективная локализация и ликвидация пожара.

Представляется целесообразным разработать проект нового нормативного документа «Рекомендации по тушению пожара на высокостеллажных складах», учитывающего применительно к ВСС весь комплекс мероприятий от разработки ПТП до действий персонала и особенностей сдерживания пожара срабатыванием АУП до его тушения пожарными подразделениями, что является новым подходом к решению проблемы тушения пожара ВСС.

Список источников

1. Теребнев В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика: Основы тушения пожаров: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 322 с.
2. Karlsson B., Quintiere J.G. Enclosure Fire Dynamics. CRC Pres. 2000. P. 316.
3. Yu H.-Z. Transient Plume Influence in Measurement of Convective Heat Release Rates of Fast-Growing Fires Using a Large-Scale Fire Products Collector // J. Heat Transfer. 1990. № 112. P. 186–191.
4. Yu H.-Z., Stavrianidis P. The Transient Ceiling Flows of Growing Rack Storage Fires / Cox G., Langford B. (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Third Int. Symp., IAFSS. 1991. P. 281–290.
5. Analysis of a Run-Away High Rack Storage Fire / N.J. Alvares [et al.]; T. Kashiwagi (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Fourth Int. Symp. 1994. P. 1267–1278.
6. Ingason H. Heat Release Rate of Rack Storage Fires, Proc. 9th Interflam 2001 // Fire Science & Engineering Conference. 2001. P. 731–740.
7. Ingason H. In-Rack Fire Plumes / D.D. Evans (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Fifth Int. Symp. 2003. P. 333–344.

²² Ввиду ограниченности объёма статьи текст Рекомендаций здесь не приводится.

8. Ingason H. Effects of Flue Spaces on the Initial In-Rack Plume Flow / D.D. Evans (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Seventh Int. Symp. 2003. P. 235–246.
9. Численное моделирование распространения пламени по дискретной совокупности горючих материалов / Е.С. Маркус [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 4. С. 29–41.
10. Arakcheev A.V. Low pressure water-mist nozzle with a swirl worm screw inserts // MATEC Web of Conferences. 2018. № 245 (21). P. 11001. DOI: 10.1051/matecconf/201824511001.
11. Arakcheev A.V. Development of Methods for Instrumental Diagnostics of Control Devices for Fire Alarm Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. № 272. P. 032013. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032013.
12. Расчётная оценка геометрических параметров спринклерных установок водяного пожаротушения высотных стеллажей / С.Н. Копылов [и др.] // Пожарная безопасность. 2020. № 2 (99). С. 62–69.
13. Аракчеев А.В., Танкlevский А.Л. Использование технологии принудительного пуска спринклеров для защиты многоуровневых автостоянок // Алгоритм безопасности. 2016. № 3. С. 32–33.
14. Аракчеев А.В. Инструментальный контроль линий систем оповещения и управления эвакуацией // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7. № 3 (43). С. 118–122.
15. ONR CEN/TS 14972:2011. Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinspruh Loschanlagen // Planung und Einbau; Deutsche Fassung. Belgium, Brussel, Europaisches Komitee fur Normung, 2011. S. 9.
16. NFPA 750. Standart on Water Mist Fire Protection Systems. Las Vegas, An International Codes and Standards Organization, National Fire Protection Association, 2015. 88 p.
17. Improvement of the method of hydraulic calculation of sprinkler automatic fire extinguishing units / A.M. Oshchepkov [et al.] // Journal of Civil Protection. 2021. Vol. 5. № 1. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.67.
18. Влияние алгоритма взаимодействия автоматических установок пожаротушения и противодымной вентиляции на время блокирования эвакуационных путей и эффективность локализации пожара в помещениях высокостеллажного хранения / А.В. Суриков [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2021 Т. 5. № 4. С. 387–401. DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.387>.
19. Large-scale fire suppression modeling of corrugated cardboard boxes on wood pallets in rack-storage configurations / N. Ren [et al.] // Fire Safety Journal. 2017. Vol. 91. P. 695–704.
20. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities / E. Markus [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1107. Article No. 042012. P. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012.
21. Trapp A.C., Rangwala A.S. Analyzing the Impact of In-Rack Sprinklers in a Warehouse Fire: A Demonstration of the Role Optimization has in mitigating damage // Fire Safety Journal. 2015. № 73. P. 55–62. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.03.002.
22. Numerical simulation of fire growth on corrugated cardboard commodities in three-tier-high rack storage arrays / P. Chatterjee [et al.] // Proc. 13th Int. Conf. Interflam. UK, 2013. P. 163–173.
23. Simulating Sprinkler Based Rack Storage Fire Suppression under Uniform Water Application / K.V. Meredith [et al.] // Proc. 7th Int. Seminar on Fire and Explosion Hazards. 2013. P. 511–520. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0_07-08.
24. Numerical Simulation of Sprinkler Suppression of Rack Storage Fires / Yi. Wang [et al.] // Fire Safety Science – Proceedings of the Eleventh International Symposium. 2014. P. 1170–1183. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-1170.
25. Yan Z., Holmstedt G. CFD Simulation of Upward Flame Spread over Fuel Surface // Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium. 1997. P. 345–356. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-345.

26. Lewis M.J., Rubini P.A., Moss J.B. Field Modelling of Non-Charring Flame Spread // Fire Safety Science – Proceedings of the Sixth International Symposium. 2000. P. 683–694. DOI: 10.3801/iafss.fss.6-683.
27. Numerical Study of Radiative Heat Transfer Effects on a Complex Configuration of Rack Storage Fire / K. Guedri [et al.] // Energy. 2011. № 36. P. 2984–2996. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.042.
28. Chaos M., Khan M.M., Dorofeev S.B. Pyrolysis of corrugated cardboard in inert and oxidative // Proceedings of the Combustion Institute. 2013. № 34. P. 2583–2590. DOI: 10.1016/j.proci.2012.06.031.
29. Čekon, M., Struhala, K., Slávik, R. Cardboard-Based Packaging Materials as Renewable Thermal Insulation of Buildings: Thermal and Life-Cycle Performance // Journal of Renewable Materials. 2017. Vol. 5 (suppl. 1). P. 84–93. DOI: 10.7569/JRM.2017.634135.
30. Quintiere J.G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, NY, 1997. 258 p.

References

1. Terebnev V.V., Podgrushnyj A.V. Pozharnaya taktika: Osnovy tusheniya pozharov: ucheb. posobie. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012. 322 s.
2. Karlsson B., Quintiere J. G. Enclosure Fire Dynamics. CRC Pres. 2000. P. 316.
3. Yu H.-Z. Transient Plume Influence in Measurement of Convective Heat Release Rates of Fast-Growing Fires Using a Large-Scale Fire Products Collector // J. Heat Transfer. 1990. № 112. P. 186–191.
4. Yu H.-Z, Stavrianidis P. The Transient Ceiling Flows of Growing Rack Storage Fires // Cox G., Langford B. (Ed.), Fire Safety Science – Proc. Third Int. Symp., IAFSS. 1991. P. 281–290.
5. Analysis of a Run-Away High Rack Storage Fire / N.J. Alvares [et al.]; T. Kashiwagi (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Fourth Int. Symp. 1994. P. 1267–1278.
6. Ingason H. Heat Release Rate of Rack Storage Fires, Proc. 9th Interflam 2001 // Fire Science & Engineering Conference. 2001. P. 731–740.
7. Ingason H. In-Rack Fire Plumes / D.D. Evans (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Fifth Int. Symp. 2003. P. 333–344.
8. Ingason H. Effects of Flue Spaces on the Initial In-Rack Plume Flow / D.D. Evans (Ed.) // Fire Safety Science – Proc. Seventh Int. Symp. 2003. P. 235–246.
9. Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya plameni po diskretnoj sovokupnosti goryuchih materialov / E.S. Markus [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2019. T. 28. № 4. S. 29–41.
10. Arakcheev A.V. Low pressure water-mist nozzle with a swirl worm screw inserts // MATEC Web of Conferences. 2018. № 245 (21). P. 11001. DOI: 10.1051/matecconf/201824511001.
11. Arakcheev A.V. Development of Methods for Instrumental Diagnostics of Control Devices for Fire Alarm Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. № 272. P. 032013. DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032013.
12. Raschyotnaya ocenka geometricheskikh parametrov sprinklernyh ustavok vodyanogo pozharotusheniya vysotnyh stellazhej / S.N. Kopylov [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2020. № 2 (99). S. 62–69.
13. Arakcheev A.V., Tanklevskij A.L. Ispol'zovanie tekhnologii prinuditel'nogo puska sprinklerov dlya zashchity mnogourovneyh avtostoyanok // Algoritm bezopasnosti. 2016. № 3. S. 32–33.
14. Arakcheev A.V. Instrumental'nyj kontrol' linij sistem opoveshcheniya i upravleniya evakuacij // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plynus. 2018. T. 7. № 3 (43). S. 118–122.
15. ONR CEN/TS 14972:2011. Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinspruh Loschanlagen // Planung und Einbau; Deutsche Fassung. Belgium, Brussel, Europaisches Komitee fur Normung, 2011. S. 9.

16. NFPA 750. Standart on Water Mist Fire Protection Systems. Las Vegas, An International Codes and Standards Organization, National Fire Protection Association, 2015. 88 p.
17. Improvement of the method of hydraulic calculation of sprinkler automatic fire extinguishing units / A.M. Oshchepkov [et al.] // Journal of Civil Protection. 2021. Vol. 5. № 1. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.67.
18. Vliyanie algoritma vzaimodejstviya avtomaticheskikh ustavok pozharotusheniya i protivodymnoj ventilyacii na vremya blokirovaniya evakuacionnyh putej i effektivnost' lokalizacii pozhara v pomeshcheniyah vysokostellazhnogo hraneniya / A.V. Surikov [i dr.] // Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MCHS Belarusi. 2021 T. 5. № 4. S. 387–401. DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.387>.
19. Large-scale fire suppression modeling of corrugated cardboard boxes on wood pallets in rack-storage configurations / N. Ren [et al.] // Fire Safety Journal. 2017. Vol. 91. P. 695–704.
20. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities / E. Markus [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1107. Article No. 042012. P. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012.
21. Trapp A.C., Rangwala A.S. Analyzing the Impact of In-Rack Sprinklers in a Warehouse Fire: A Demonstration of the Role Optimization has in mitigating damage // Fire Safety Journal. 2015. № 73. P. 55–62. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.03.002.
22. Numerical simulation of fire growth on corrugated cardboard commodities in three-tier-high rack storage arrays / P. Chatterjee [et al.] // Proc. 13th Int. Conf. Interflam. UK, 2013. P. 163–173.
23. Simulating Sprinkler Based Rack Storage Fire Suppression under Uniform Water Application / K.V. Meredith [et al.] // Proc. 7th Int. Seminar on Fire and Explosion Hazards. 2013. P. 511–520. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0_07-08.
24. Numerical Simulation of Sprinkler Suppression of Rack Storage Fires / Yi. Wang [et al.] // Fire Safety Science – Proceedings of the Eleventh International Symposium. 2014. P. 1170–1183. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-1170.
25. Yan Z., Holmstedt G. CFD Simulation of Upward Flame Spread over Fuel Surface // Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium. 1997. P. 345–356. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-345.
26. Lewis M.J., Rubini P.A., Moss J.B. Field Modelling of Non-Charring Flame Spread // Fire Safety Science – Proceedings of the Sixth International Symposium. 2000. P. 683–694. DOI: 10.3801/iafss.fss.6-683.
27. Numerical Study of Radiative Heat Transfer Effects on a Complex Configuration of Rack Storage Fire / K. Guedri [et al.] // Energy. 2011. № 36. P. 2984–2996. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.042.
28. Chaos M., Khan M.M., Dorofeev S.B. Pyrolysis of corrugated cardboard in inert and oxidative // Proceedings of the Combustion Institute. 2013. № 34. P. 2583–2590. DOI: 10.1016/j.proci.2012.06.031.
29. Čekon, M., Struhala, K., Slávik, R. Cardboard-Based Packaging Materials as Renewable Thermal Insulation of Buildings: Thermal and Life-Cycle Performance // Journal of Renewable Materials. 2017. Vol. 5 (suppl. 1). P. 84–93. DOI: 10.7569/JRM.2017.634135.
30. Quintiere J.G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, NY, 1997. 258 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 31.07.2025; одобрена после рецензирования: 12.09.2025;
принята к публикации: 05.11.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 31.07.2025; approved after review: 12.09.2025;
accepted for publication: 05.11.2025

Информация об авторах:

Танкlevский Леонид Тимофеевич, профессор кафедры «Пожарная безопасность» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, <https://orcid.org/0000-0002-2769-0086>, SPIN-код: 5721-1570

Аракчеев Александр Валерьевич, генеральный директор ООО ФНПП «ГЕФЕСТ» (187022, Ленинградская обл., Тосненский р-н, пгт Форносово, Промышленная ул., д. 1-Г), SPIN-код: 6575-6690

Таранцев Александр Алексеевич, заведующий лабораторией Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (199178, Санкт-Петербург, 12-я Линия В.О., д. 13); профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: t_54@mail.ru, SPIN-код: 1076-8133

Information about the authors:

Tanklevsky Leonid T., professor of the department of fire safety peter the great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politehnicheskaya str., 29), doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2769-0086>, SPIN: 5721-1570

Arakcheev Alexander V., general manager of FNPP «GEFEST» (187022, Leningrad region, Tosnensky district, Fornosovo village, Promyshlennaya str., 1-G), SPIN: 6575-6690

Tarantsev Alexander A., head of the laboratory of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12th Line V.O., 13); professor of the department of fire fighting and emergency rescue operations of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: t-54@mail.ru, SPIN: 1076-8133