

Научная статья  
УДК 614.841  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.55.50.002

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ПОЖАРОВ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ СКЛАДСКОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Татьяна Петровна Макарова<sup>1</sup>,  
Юрий Николаевич Безбородов<sup>2</sup>,  
Мария Викторовна Гапоненко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

*Автор ответственный за переписку: Татьяна Петровна Макарова, t-krivoguzova@mail.ru*

**Аннотация.** В статье обоснована актуальность исследований, посвященных изучению динамики пожаров в закрытых помещениях производственного и складского назначения. В работе проведен анализ особенностей возникновения и протекания пожаров в закрытых помещениях, статистических данных по пожарам в помещениях складского и производственного назначения, анализ требований пожарной безопасности к таким помещениям. Выявлена необходимость в разработке метода контроля опасных факторов пожара в производственных и складских помещениях закрытого типа.

**Ключевые слова:** пожар, закрытые помещения, опасные факторы пожара

**Для цитирования:** Макарова Т.П., Безбородов Ю.Н., Гапоненко М.В. Анализ особенностей динамики пожаров в закрытых помещениях складского и производственного назначения// Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1 (24). С. 15-21. <https://dx.doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.55.50.002>.

Original article

## ANALYSIS OF THE FIRE'S DYNAMICS IN ENCLOSED WAREHOUSES AND INDUSTRIAL AREAS

*Tatiana P. Makarova<sup>1</sup>,  
Yuri N. Bezborodov<sup>2</sup>,  
Maria V. Gaponenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

<sup>2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Corresponding author:** Tatyana P. Makarova, t-krivoguzova@mail.ru

**Abstract.** The article substantiates the relevance of research devoted to the study of the dynamics of fires in enclosed spaces of industrial and warehouse purposes. In work the analysis of features of occurrence and course of fires in the closed premises, statistical data on fires in premises of warehouse and industrial appointment, the analysis of requirements of fire safety to such premises is carried out.

The necessity in development of method of control of dangerous factors of fire in industrial and warehouse premises of closed type has been revealed.

**Key words:** fire, confined spaces, fire hazards, control method

**For citation:** Makarova T.P., Bezborodov Y.N., Gaponenko M.V. Analysis of the fire's dynamics in enclosed warehouses and industrial areas // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 1 (24). С. 15-21. <https://dx.doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.55.50.002>.

Любые объекты промышленности связаны с хранением сырья и готовой продукции, а также помещениями промышленного производства. Как правило, складирование продукции осуществляется либо на открытых площадках, либо в помещениях закрытого типа. Кроме того, открытые и закрытые складские помещения – неотъемлемая часть сферы деятельности торговли и снабжения. За последние 10 лет наблюдается значительный рост количества складских помещений, что объясняется развитием и увеличением объемов розничной и онлайн-торговли на территории России [1]. В связи с этим растет и число пожаров (рис. 1), сопровождающихся значительным материальным ущербом и причинением вреда жизни и здоровью граждан [2]. Следует также отметить, что принятые в 2019 году изменения в порядке учета пожаров и их последствий, повлияли на рост основных количественных показателей статистических данных по пожарам, в том числе и на объектах складского назначения. Несмотря на общие тенденции снижения показателей по пожарам и их последствий в 2020 году, более детальный анализ статистических данных показал увеличение количества пожаров в складских помещениях. Такие пожары, как отмечалось ранее, влекут за собой серьезные последствия, выражающиеся в гибели людей и значительном материальном ущербе (рис. 2), а также сопровождаются рядом сложностей при проведении действий по тушению пожара и аварийно-спасательных работ [1].

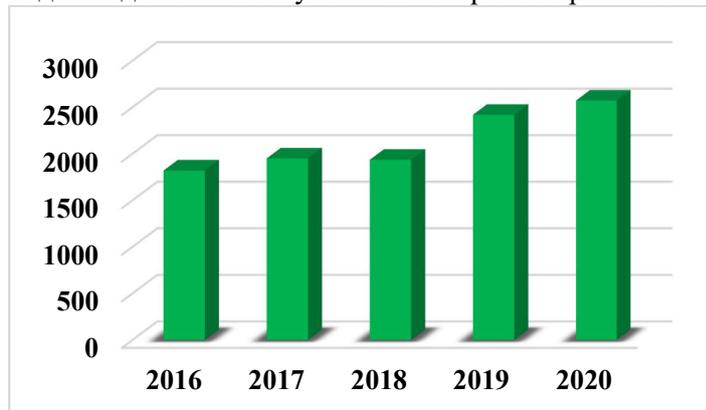


Рис. 1. Диаграмма распределения числа пожаров в складских помещениях, кладовых за 2016-2020 гг. в РФ.

Наиболее резонансный за последние годы пожар на подобных объектах произошел 3 февраля 2021 года на складе автозапчастей в г. Красноярске. Площадь пожара составила порядка 3900м<sup>2</sup>. Причиной стал аварийный режим работы электросети. В результате тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ погибли 4 человека: 1 работник склада и 3 пожарных. Согласно источнику [3] установленная на объекте система пожаротушения сработала, но огонь стремительно распространился по всему зданию.



Рис. 2. Фотографии с места пожара на складе автозапчастей в г.Красноярск

В промышленном секторе также наблюдается рост объемов производства. Наиболее интенсивное развитие наблюдается в следующих областях: нефтегазовый сектор, машиностроение, цветная и черная металлургия. Активно развиваются производства пищевой продукции и товаров общего пользования. Для поддержания действующей промышленной системы необходимы не только складские помещения для хранения сырья и готовой продукции, но и производственные мощности, что объясняет рост количества и площадей помещений и зданий производственного назначения.

В таблице представлены основные причины пожаров на объектах производственного и складского назначения, которые происходят при возникновении технической неисправности или вследствие человеческого фактора.

К человеческим факторам относятся нарушение правил эксплуатации оборудования и требований пожарной безопасности, а также умышленные поджоги. Неосторожное обращение с огнем происходит вследствие сознательного игнорирования требований пожарной безопасности и выражается в таких действиях, как курение в неположенных местах, проведение огневых работ с нарушением требований пожарной безопасности, неправильное хранение ЛВЖ и ГЖ в производственных помещениях и т.д. Поджоги происходят в результате умышленных действий в целях нанесения ущерба имуществу, и могут совершаться как из хулиганских побуждений, так и в рамках конкуренции. Технологические причины связаны с нарушением технологического процесса находящегося в помещении оборудования, которое может сопровождаться выбросом горючих газов и пыли.

Анализ статистических данных позволяет сделать вывод о том, что наблюдается рост числа пожаров по причине нарушения правил эксплуатации электрооборудования (таблица), которые зачастую приводят к возникновению аварийных режимов работы – перегрузке сети и электрических приборов, короткому замыканию.

**Таблица. Распределение количества пожаров, произошедших на производственных объектах и складах в 2016-2020 гг. в РФ**

Причины пожаров	Количество пожаров, ед.				
	2016	2017	2018	2019	2020
Поджоги	308	348	331	303	276
Технологические причины	202	188	217	297	298
<b>Нарушение правил эксплуатации электрооборудования</b>	<b>1818</b>	<b>1839</b>	<b>1849</b>	<b>2227</b>	<b>2244</b>
Нарушение правил устройств и эксплуатации печей	430	412	468	567	607
Неосторожное обращение с огнем	711	826	707	978	881

Пожары в производственных и складских помещениях, где возможно образование горючей среды, могут сопровождаться выделением опасных газоздушных смесей при термическом разложении и горении, скоплением этих продуктов в припотолочном пространстве.

Следует отметить, что летучие соединения, выделяющихся при нагреве материалов, могут являться не только токсичными, но и пожаровзрывоопасными.

Также отличительной особенностью помещений складского назначения является неоднородность горючей нагрузки, представленной в виде сырья, готовой товарной продукции, мебели, материалов и упаковки, выполненных из бумаги, полимерных материалов (пластик), древесины (ДСП), ЛВЖ, ГЖ, резинотехнических изделий и т.д.

Рост площадей производственных и складских помещений и количества пожаров, происходящих в них, накладывают определенную нагрузку на органы государственного пожарного надзора, связанную с проведением дополнительных мероприятий, направленных на контроль соблюдения требований пожарной безопасности таких помещений. Далее проведем анализ существующих требований пожарной безопасности, предъявляемых к производственным и складским помещениям.

Объекты производственного и складского назначения подлежат категорированию в соответствии с Техническим регламентом [5], для предотвращения возможности возникновения пожара и обеспечения противопожарной защиты людей, имущества. Согласно [5, 6] помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д, в зависимости от находящихся и обращающихся веществ и материалов, особенностей их расположения и хранения и других факторов. Требования пожарной безопасности устанавливаются в зависимости от категории, т.е. опасности конкретного помещения. Существующая методика определения категорий помещений не всегда характеризует реальную степень пожарной опасности, что обусловлено особенностями расчетов [6] и отсутствием достаточных исследований, посвященных изучению динамики развития пожаров в закрытых помещениях.

Общие требования пожарной безопасности к складским и производственным помещениям изложены в [5;7-11]. Требования предъявляются к особенностям размещения помещений в здании в зависимости от категорий по взрывопожарной и пожарной опасности, а также расположенному в помещении технологического процесса или оборудования. Предъявляются требования к пределам огнестойкости строительных конструкций [11] и перегородок [8], необходимых для разделения помещений разных категорий и функционального назначения. В [7] изложен запрет на использование чердаков, технических, подвальных, вентиляционных камер для организации производственных участков.

Для складских помещений предъявляются некоторые требования касательно:

- ограничения в расположении и размещении оборудования и электроприборов в некоторых складских помещениях [7];
- условия хранения продукции (газ, ЛВЖ, ГЖ) [7];
- требования к ширине проходов между стеллажами хранимой продукции [11];
- запрет на операции, связанные с вскрытием тары, мелким ремонтом, приготовления рабочих смесей в местах хранения продукции [7];
- запрет на использование газовых плит и электронагревательных приборов в складских помещениях [7];
- запрет на хранение ЛВЖ и ГЖ, пожаровзрывоопасных веществ и материалов на чердаках, в цокольных, подземных этажах [7];
- запрет на использование открытого огня (курение) в складских помещениях [7].

Согласно [7] хранить вещества и материалы необходимо с учетом их пожароопасных и физико-химических свойств, однако, необходимо обратить внимание, что отсутствуют конкретные требования к допустимой массе и объему хранимой продукции в зависимости от опасности в закрытых складских помещениях (за исключением аммиачной селитры [8] и хранение аэрозолей в помещениях, не защищенных установками автоматического пожаротушения [8]), а также не предъявляются явные требования к запрету хранения различных веществ и горючей нагрузки в одном объеме помещения (за исключением хранения горючих газов с другими веществами).

Следует отметить, что благодаря научно-техническому прогрессу появляются новые вещества (искусственные полимерные материалы), происходит усовершенствование составов лаков, красок, резинотехнических изделий благодаря различным добавкам, свойства и поведение которых в условиях пожара малоизучены.

Динамика развития пожара в закрытых помещениях имеет ряд особенностей по сравнению с пожарами в открытых пространствах или с постоянным доступом кислорода.

Как уже было описано ранее пожарная нагрузка складских и производственных помещений существенно отличается от нагрузки, размещаемой в других помещениях и изменение таких параметров, как содержание кислорода, динамика температуры и концентрация выделяющихся при нагревании пожароопасных веществ напрямую зависит как от хранящихся и обращающихся в помещении веществ, так и от условий газообмена помещения пожара со смежными помещениями и внешней средой.

Развитие пожаров в закрытом объеме на начальном этапе происходит аналогично пожарам в условия открытого пространства [12]. Первым этапом принято считать пожар, регулируемый пожарной нагрузкой.

В открытых помещениях, где возможен интенсивный газообмен, присутствует достаточное количество кислорода для достижения максимальной скорости выгорания, характерной для конкретной горючей нагрузки, развитие пожара происходит как правило равномерно.

Внутренние пожары, происходящие в относительно герметичных помещениях, так называемые «закрытые пожары» [13], возможны в:

- зданиях, не имеющих окон и остекленных проёмов (склады, гаражи, цеха);
- помещениях с закрытыми проемами (общественные здания) с учетом современного остекления и технологий отделки полимерными материалами, создающих герметичность помещения;
- абсолютно закрытых площадях (подвалы промышленные, трюмы, холодильные камеры, оборудование и др.).

В зависимости от количества кислорода развитие пожара в закрытых помещениях проходит через ряд стадий [14]:

1. при избытке кислорода, когда имеющегося кислорода в свободном объеме воздуха достаточно, для поддержания высокой скорости процессов термического разложения и горения пожарной нагрузки (пожар, регулируемый нагрузкой);
2. при стехиометрическом соотношении горючего и окислителя;
3. при недостатке кислорода, когда остаточная концентрация кислорода в помещении достигает 14% (пожар, регулируемый вентиляцией).

Следует отметить, что пониженная концентрация кислорода является одним из опасных факторов пожара, воздействие которых приводит к травме, отравлению или гибели человека [5]. После перехода локального воспламенения в устойчивое горение дальнейшее развитие закрытого пожара (третья стадия) происходит в условиях ограниченного газообмена, горение прекращается или происходит с минимальной скоростью (тление), которая определяется доступностью кислорода [12].

Немаловажной особенностью процессов, протекающих при пожарах в закрытых помещениях, является скопление токсичных и пожароопасных продуктов термического разложения и горения. В ходе проведения действий по тушению пожаров и аварийно-спасательных работ, личный состав подразделений пожарной охраны производит вскрытие, как оконных, так и дверных проемов, что зачастую сопровождается резким выбросом и воспламенением скопившейся смеси газов, что представляет непосредственную опасность для пожарного и приводит к дальнейшему развитию пожара. Существующие статистические данные по пожарам [2] не отражают причины гибели и травмирования личного состава подразделений пожарной охраны, но известно, что значительное число пожарных погибает вследствие

воздействия высокой температуры, которая потенциально может образовываться при вспышке и выбросе скопившейся в закрытом помещении газовой смеси.

Повышенная температура является опасным фактором пожара и параметром, определяющим дальнейшее развитие пожара и образование опасных концентраций продуктов термического разложения. Динамика изменения температуры в закрытых помещениях изучалась в натуральных испытаниях [14;15], но в качестве пожарной нагрузки использовалось дерево. Нагрузка помещений производственного и складского назначения представлена не только мебелью и строительно-отделочными материалами, но и хранящимися и обращающимися горючими веществами, что также может повлиять на изменение температурных режимов при пожарах в закрытых помещениях. Также динамика температуры исследовалась при помощи компьютерного моделирования [16;17], которое позволяет получить общее представление о динамике температуры, что не всегда соответствует действительности по причине многообразия возможных пожарных нагрузок, внутри закрытого помещения производственного или складского назначения, и их отличия от нагрузок, проанализированных в указанных работах.

В заключение можно сказать, что исследования, посвященные изучению динамики развития пожара в закрытых помещениях складского и производственного назначения актуальны на сегодняшний день по причинам роста количества таких помещений и пожаров, происходящих в них, необходимости совершенствования нормативной базы, связанной с обеспечением пожарной безопасности таких помещений, отсутствия достаточных сведений о свойствах и поведении в условиях пожара новых веществ и материалов. Для изучения поведения веществ и материалов, и их влияния на динамику «закрытых» пожаров необходимо разработать новый метод контроля опасных факторов пожара в закрытых помещениях.

#### Список источников

1. Двоенко О. В. и др. Особенности тушения пожаров на складах //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего 3. – 2022. – С. 20.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. - М.: ВНИИПО. – 2021. – 114 с.
3. Красноярск онлайн: [сайт]. URL: <https://ngs24.ru/text/incidents/2021/02/04/69749223>
4. Приказ МЧС России от 21.11.2008 N 714 «Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий» (последняя редакция).
5. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ (последняя редакция).
6. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
7. Постановление правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (последняя редакция) «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации».
8. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты.
9. СП 2.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
10. СП 56.13330.2021 Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001.
11. СП 1.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
12. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат. 1990. – 424 с.
13. Виды пожаров: подробная классификация и характеристика: [сайт]. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/vidyi-pozharov-podrobnaya-klassifikatsiya-i-harakteristika/>

14. Лисицына О. Г., Бардушка С. Н. Особенности развития пожара в замкнутых помещениях жилых и административных зданий //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. – 2006. – №. 9. – С. 46-50.
15. Лисицына О. Г., Бардушка С. Н. Изучение температурных режимов пожаров в административных и жилых помещениях с малыми проемами //Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15. – №. 6. – С. 48-54.
16. Madrzykowski D. Fire Dynamics: The Science of Fire Fighting //International Fire Service Journal of Leadership & Management. – 2016. – Т. 10.
17. Невдах В.В. Динамика факторов пожара, детектируемых извещателями, в закрытых помещениях: моделирование // Приборы и методы измерений. – 2015. – Т. 6. – № 2. – с. 239-248.

**Информация об авторах**

Ю.Н. Безбородов - доктор технических наук, профессор

**Information about the author**

Yuri N. Bezborodov - Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science)  
in Engineering Sciences, Full Professor

Статья поступила в редакция 18.03.2022; одобрена после рецензирования 21.03.2022; принята к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 18.03.2022, approved after reviewing 21.03.2022, accepted for publication 21.03.2022.