

Научная статья

УДК 614.841.242; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-156-166

## **ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРОВ, СВЯЗАННЫХ СО ВЗРЫВАМИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ**

**Охотников Михаил Анатольевич;**

**Гужва Александра Артуровна;**

**✉ Клаптюк Ирина Викторовна.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

**✉ [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru)**

*Аннотация.* Взрывы топливовоздушных смесей и сопровождающие их пожары являются едва ли не самыми распространенными чрезвычайными ситуациями. Большая вероятность такого рода чрезвычайных ситуаций характерна как для промышленных объектов, так и для жилого сектора.

При исследовании пожаров, связанных с дефлаграционным (взрывным) горением топливовоздушных смесей, перед специалистами часто возникает ряд вопросов, которые бывают трудноразрешимы при использовании стандартного методологического подхода, который используется при исследовании классического пожара. В статье проведен экспертный анализ пожаров, вызванных возгоранием (взрывом) топливовоздушной смеси. Также в работе представлена статистика пожаров, связанных со взрывами топливовоздушных смесей за последние пять лет, в которой приведены данные по категориям объектов и природе топливовоздушных смесей.

*Ключевые слова:* дефлаграционное горение, топливовоздушная смесь, взрыв, пожар, легковоспламеняющаяся жидкость, статистика, исследование

**Для цитирования:** Охотников М.А., Гужва А.А., Клаптюк И.В. Особенности исследования пожаров, связанных со взрывами топливовоздушных смесей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 156–166. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-156-166.

Scientific article

## **FEATURES OF THE STUDY OF FIRES ASSOCIATED WITH EXPLOSIONS OF FUEL-AIR MIXTURES**

**Okhotnikov Mikhail A.;**

**Guzhva Alexandra A.;**

**✉ Klapyuk Irina V.**

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

**✉ [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru)**

*Abstract.* Explosions of fuel-air mixtures and their accompanying fires are perhaps the most common emergencies. A high probability of this kind of emergency is typical for both industrial facilities and the residential sector.

When studying fires associated with deflagration (explosive) gorenje fuel-air mixtures, experts often face a number of questions that are difficult to solve when using the standard methodological approach used in the study of a classic fire. The article presents an expert analysis of fires caused by the ignition (explosion) of a fuel-air mixture. The paper also presents statistics of fires associated with explosions of fuel-air mixtures over the past five years, which provides data on the categories of objects and the nature of fuel-air mixtures.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

**Keywords:** deflagration combustion, fuel-air mixture, explosion, fire, flammable liquid, statistics, research

**For citation:** Okhotnikov M.A., Guzhva A.A., Klapyuk I.V. Features of the study of fires associated with explosions of fuel-air mixtures // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 4 (68). P. 156–166. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-156-166.

## Введение

Статистика пожаров в Российской Федерации за последние годы свидетельствует о возрастающем количестве несчастных случаев, связанных со взрывами топливовоздушных смесей (ТВС). В то время как доля пожаров, произошедших в результате взрывов ТВС, в России за период 2018–2022 гг. относительно невелика и составляет величину 0,02–0,06 % от общего количества учтенных пожаров, количество смертельных случаев в результате воздействия таких опасных факторов, как пожара и взрыва, за последние пять лет составляет величину 15,3–36,6 % от общего числа взрывов ТВС и имеет тенденцию к росту (рис. 1) [1].

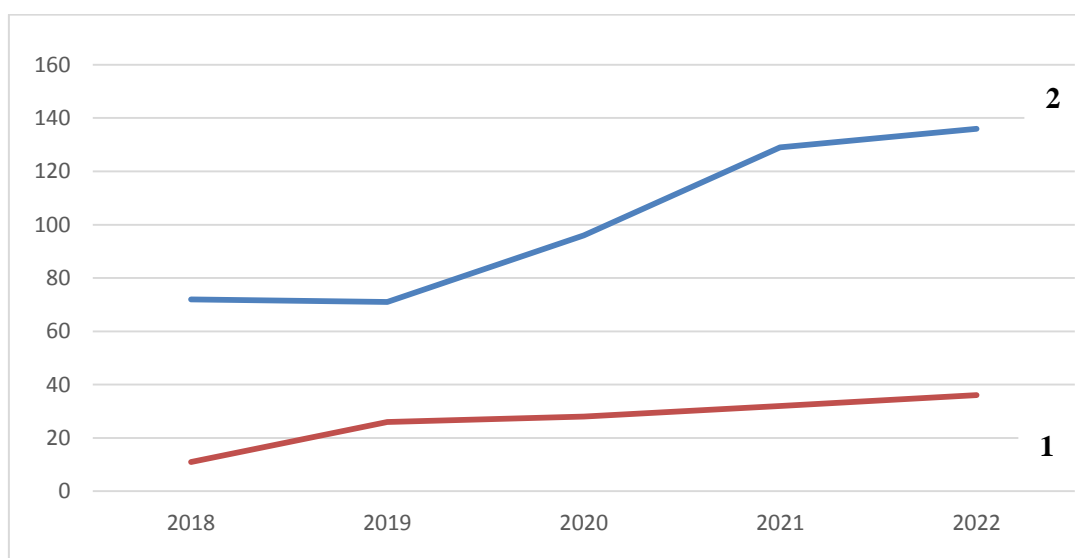


Рис. 1. Статистика количества взрывов ТВС и гибели на пожарах людей в России в 2018–2022 гг.:  
1 – количество взрывов ТВС; 2 – количество смертельных случаев

В связи с этим исследования пожаров, связанные со взрывами ТВС, представляют повышенный интерес, что отражается в увеличении год от года числа постановлений о назначении пожарно-технических экспертиз, выносимых органами следствия и дознания, проводящими расследование данного вида происшествий.

Статистические данные по взрывам ТВС (рис. 2) свидетельствуют о том, что за период 2018–2022 гг. 46 % от общего количества взрывов, исследованных в судебно-экспертных учреждениях и подразделениях федеральной противопожарной службы (СЭУ ФПС) МЧС России, произошли в жилом секторе (многоквартирные жилые дома, дачные и жилые дома и строения на индивидуальных земельных участках и т.п.), что объясняется относительно высоким уровнем газификации объектов жилого сектора в Российской Федерации [2, 3], а также наличием благоприятных для возникновения аварийных пожаровзрывоопасных ситуаций факторов: изношенностью сетевого газового оборудования в многоквартирных жилых домах, возведенных в 1960–1970 гг. XX в., при недостаточном надзоре газовых служб; нарушением мер безопасности при эксплуатации газовых баллонов и сетевого оборудования; некачественным оказанием услуг по газоснабжению потребителей; нарушением воздухообмена, вызванным нарушением нормативных требований в ходе проведения перепланировок помещений и т.д. [4].

Второе место по количеству проведенных исследований занимают транспортные средства (ТС) (25 %), на которых взрывы ТВС в подавляющем большинстве случаев происходили вследствие разгерметизации топливной, тормозной или охлаждающей системы. На третьем – производственные объекты (включая энергетический сектор) (19 %), на которых происходит обращение горючих газов, а также легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ), пары которых могут образовывать взрывоопасную концентрацию в воздухе.

Наконец, к последней категории с долей проведенных исследований 10 % относятся все остальные объекты, такие как гаражи, склады, объекты торговли и оказания услуг и т.д.

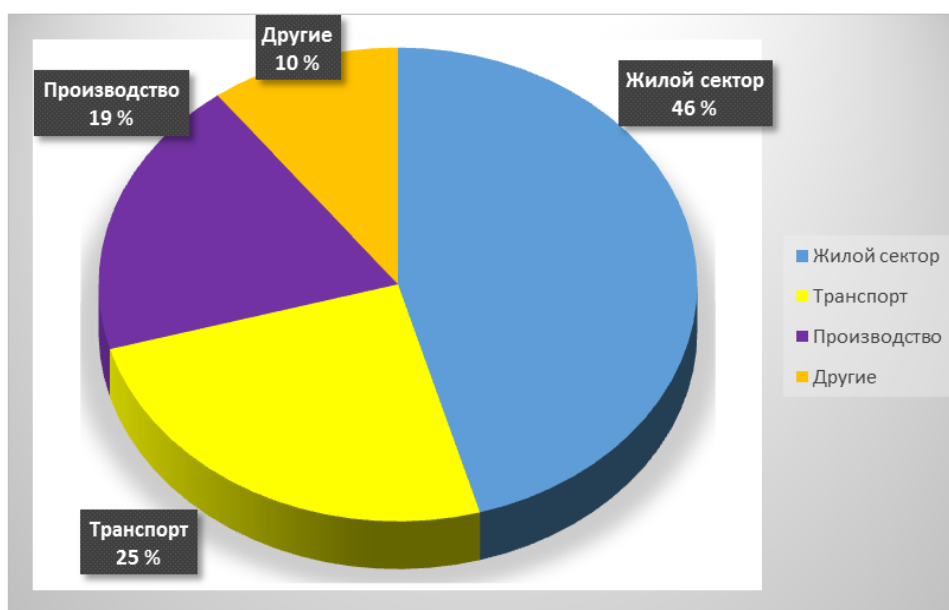


Рис. 2. Диаграмма распределения исследованных в СЭУ ФПС в 2018–2022 гг. пожаров по категориям объектам, на которых произошли взрывы ТВС

На рис. 3 представлена диаграмма распределения количества проведенных в СЭУ ФПС МЧС России в 2018–2022 гг. исследований взрывов по природе ТВС. В большинстве случаев (62 %) на экспертизу поступали пожары, произошедшие в результате взрывов горючих газов – метана, пропана, бутана и пропан-бутановых смесей, что почти вдвое превышает количество исследованных взрывов паров ЛВЖ и ГЖ (35 %). Очевидно, это объясняется, в том числе, субъективным фактором, когда воспламенение паров ЛВЖ и ГЖ, даже если вспышка сопровождается хлопком, зачастую не воспринимается человеком как взрыв, влияя в дальнейшем при экспертном исследовании на отнесение пожара к той или иной категории (причине).

Относительно незначительную долю от общего количества исследований занимают пожары, произошедшие в результате взрывов горючих пылей (около 3 %), что может объясняться как объективными причинами, в частности, влиянием на пожаровзрывоопасность пылей таких факторов, как их химическая природа, состав, размер частиц, влажность и т.д. [5, 6], так и достаточной очевидностью причины произошедших взрыва и пожара, исключая во многих случаях необходимость в экспертном пожарно-техническом исследовании.

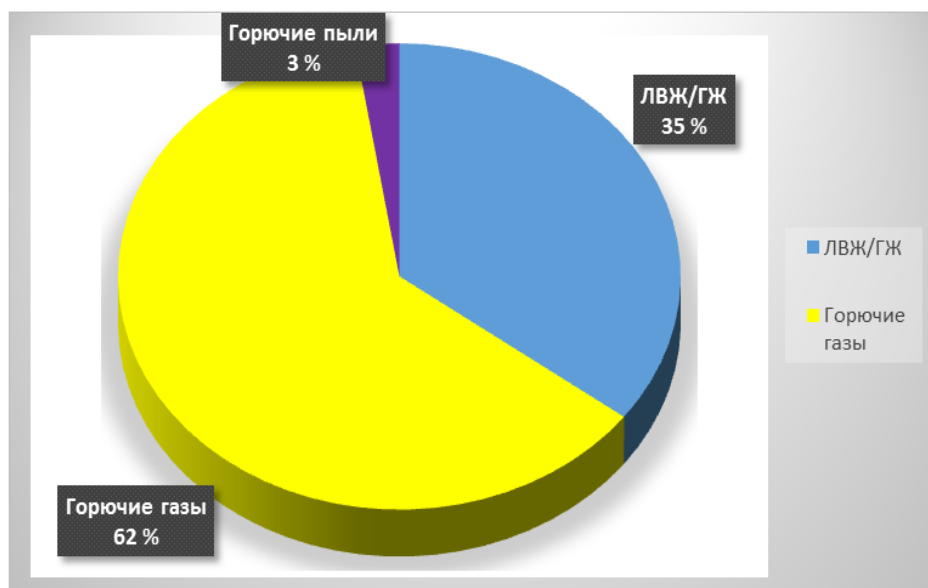


Рис. 3. Диаграмма распределения исследованных в СЭУ ФПС в 2018–2022 гг. взрывов по природе ТВС

Необходимо отметить, что в настоящее время сотрудники и работники СЭУ ФПС МЧС России сталкиваются с рядом проблем, свойственных исследованиям пожаров, сопряженных со взрывами ТВС, что, в свою очередь, подчеркивает актуальность данной проблематики. Целью настоящей работы является анализ наиболее типичных проблем, возникающих при экспертном исследовании подобных пожаров.

#### Аналитическая часть

При исследовании пожаров, произошедших в результате взрывов ТВС, пожарно-технические эксперты в подавляющем большинстве случаев используют те же самые методические подходы, как и при работе с классическими пожарами, то есть в рамках специализации «Реконструкция процесса возникновения и развития пожара» [7]. Однако при производстве экспертиз и технических заключений по факту пожаров, связанных с дефлаграционным горением ТВС, перед экспертами (специалистами) часто возникает ряд вопросов, которые бывают трудноразрешимы при использовании стандартного подхода [8–10]. Данные вопросы, как правило, заключаются в особенностях:

- процессов протекания дефлаграционного горения ТВС;
- конструктивных и объемно-планировочных решений объекта, на котором произошел взрыв;
- исследования места происшествия вкупе с описанием поражений термической и механической (вследствие действия ударной волны) природы;
- установления причины пожара и т.д.

В качестве примера такого случая приведем взрыв и пожар в квартире многоквартирного жилого дома. Помещение кухни и комнаты в квартире сообщается через коридор. Жильцы квартиры с целью приготовления пищи поставили кастрюлю с растительным маслом (около 200 г) на газовую плиту и включили конфорку. Через некоторое время в квартире произошла объемная вспышка, в результате которой пострадал один из жильцов (ожоги лица и верхних конечностей), а также было уничтожено потолочное покрытие в помещении кухни (натяжной потолок оплавлен по всей площади) и разрушена межквартирная стена, расположенная в комнате квартиры (рис. 4).



**Рис. 4. Разрушения межквартирной стены в комнате квартиры вследствие взрыва, произошедшего в помещении кухни**

Анализируя представленные материалы по факту пожара, пожарно-технический специалист установил, что в помещении кухни находились два газоанализатора с датчиками на метан (пропан) и на окись углерода (СО), при этом имеющаяся информация свидетельствовала о срабатывании именно датчика на угарный газ, что позволило прийти к выводу: «в данном случае происходило нагревание масла в кастрюле. В результате нагрева произошло образование в кастрюле паровоздушной смеси паров растительного масла с воздухом, с последующим ее воспламенением». При этом авторы отмечают, что объяснение причины столь нетипичного разрушения строительных конструкций в квартире, а именно межквартирной стены в комнате, тогда как взрыв произошел в помещении кухни, специалистом в заключении дано не было.

Из источников [11–13] известно, что пути распространения ударной волны в закрытых пространствах (ограниченном пространстве, замкнутом объеме) непредсказуемы и часто плохо поддаются логическому анализу. Взрывные волны могут отражаться, усиливаться, способны проникать в каналы, огибать препятствия. Проходить в смежные объемы и даже усиливаться за счет отражения на стенках или при фокусировке на угловых элементах и местах сужения проходов, каналов и т.д.

Таким образом, очевидно, что в рассматриваемом случае применение стандартного методологического подхода не позволило специалисту учесть и обосновать в своем заключении влияние на формирование зафиксированных повреждений разрушений в квартире таких факторов, как специфика горючей взрывоопасной нагрузки (с учетом показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов), а также особенности процессов дефлаграционного горения и распространения волны низкого давления по связанным между собой помещениям (с соответствующим моделированием и расчетами).

Специфика пожаров, связанных со взрывами ТВС, находит свое отражение и в особенностях формирования вещественной обстановки на месте происшествия.

Действие взрыва характеризуется значением величины давления (ударной волны), следовательно, в процессе осмотра места происшествия достаточно сложно дифференцировать основные признаки дефлаграционного горения в связи с масштабными разрушениями и объемными термическими повреждениями объекта исследования. В то же время известны основные признаки взрывов ТВС, к которым относятся преобладание термических поражений над взрывными и беспорядочный характер разрушений [14, 15], на что необходимо обращать особое внимание при проведении экспертных исследований, включая осмотр мест происшествий.

Примерами беспорядочного характера разрушений служат случаи взрыва бытового газа и пылевоздушных смесей [16–19], в частности взрыв аэрозоля мясокостной муки на комбикормовом заводе. Как можно видеть на рис. 5, 6, на уровне шестого этажа здания отсутствуют конструктивные элементы (стены); действие ударной волны характеризуется падением стен наружу, «вырыванием» оконных рам, в том числе выгибанием ограждающих конструкций.

При анализе материалов уголовного дела было установлено, что работники комбикормового завода на шестом этаже производственного цеха ручным способом загружали в бункер мясокостную муку (добавка при подготовке комбикорма). В процессе работы произошла объемная вспышка внутри бункера, после чего последовало несколько взрывов, вследствие которых были разрушены стены этажа. В результате данного взрыва погибли два работника, еще двое получили множественные ожоги. По результатам исследования эксперты пришли к выводу, что работники пренебрегли техникой безопасности и работали в синтетической рабочей одежде, что явилось источником образования разрядов статического электричества, инициировавших воспламенение пылевоздушной смеси в помещении цеха.

Отдельно хотелось бы остановиться на достаточно нетривиальных случаях взрывов ТВС, встречающихся в экспертной практике и представляющих определенные сложности в работе, когда на исследуемом негазифицированном объекте характер повреждений и разрушений однозначно свидетельствует о протекании процессов взрывного горения.

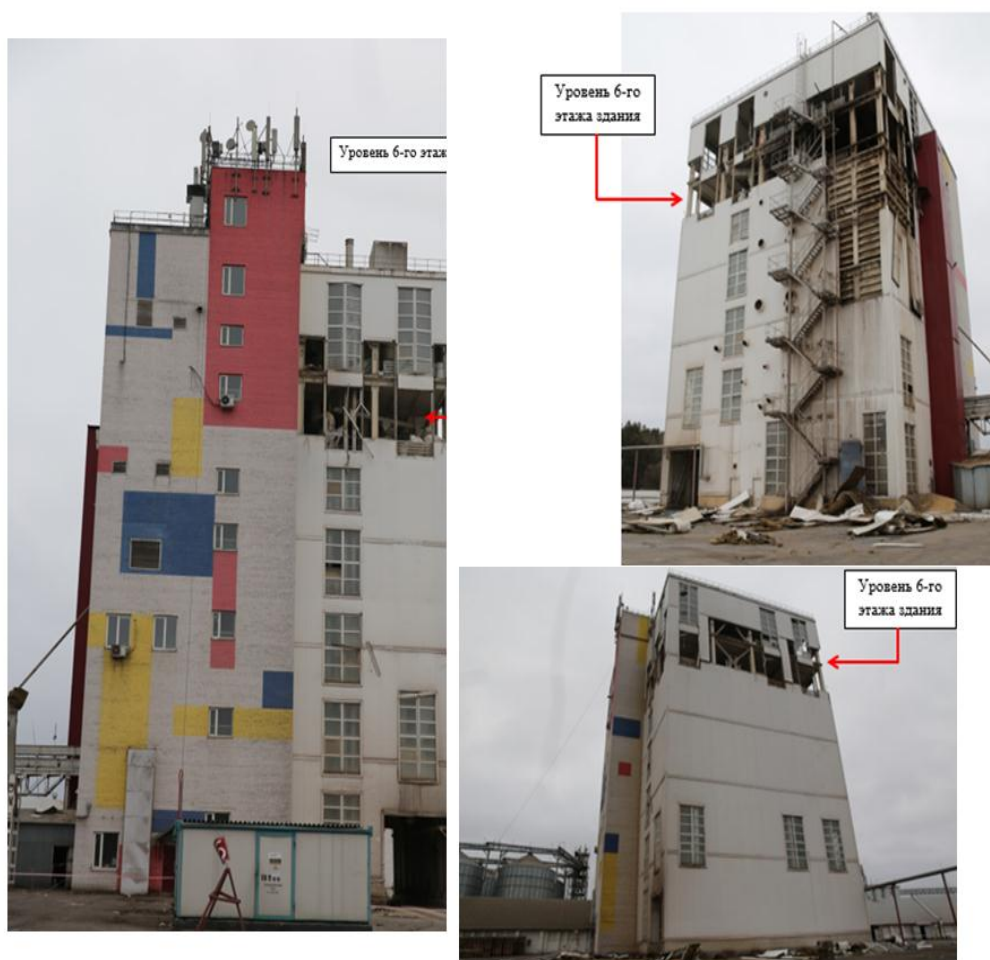


Рис. 5. Вид на здание комбикормового завода (у основания здания видны «вырванные» оконные рамы и разрушенные фрагменты стен вследствие взрывов пылевоздушной смеси в производственном цехе)

На рис. 6 изображен разрушенный вследствие взрыва бытового газа двухэтажный кирпичный дом, в результате которого погиб человек. Пожарно-техническое исследование по данному происшествию показало, что жилой дом к газовым коммуникациям подключен не был, однако вблизи дома проходила центральная магистраль газоснабжения ряда объектов населенного пункта.



Рис. 6. Вид дома после взрыва бытового газа

В результате проводившихся накануне взрыва ландшафтных работ буровой установкой был поврежден газопровод центральной газовой магистрали, при этом, как известно [20–22], газ имеет способность мигрировать в процессе истечения из подземных трубопроводов. Эксперты установили, что выходящий из поврежденного газопровода газ распространялся вдоль газовой трубы по неплотностям грунта, пока не проник в дом и не образовал взрывоопасную концентрацию. Для воспламенения смеси достаточно было минимального источника зажигания в виде электрической искры.

Подводя итог вышесказанному, очевидно, что исследование пожаров, связанных со взрывами ТВС, имеет свои специфические особенности и требует специальных экспертных познаний, которые позволили бы устанавливать первоначальное место взрывного горения, развития его во времени и пространстве, а также давали бы возможность выявлять на месте происшествия остатки ТВС и определять ее компонентный состав. Очевидно, что разработка методологических принципов экспертных исследований взрывов ТВС имеет несомненную практическую значимость в рамках проводимых органами следствия и дознания процессуальных мероприятий.

Соответствующая методика, которая учитывает многообразие специфических факторов взрывного горения ТВС, была впервые разработана в исследовательском центре экспертизы пожаров (ИЦЭП) Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России [23].

По аналогии с классическим пожаром здесь применяется два основных понятия: очаг взрыва и центр взрыва.

Очаг взрыва – своего рода аналог очага пожара – место, где взрыв был инициирован каким-либо источником зажигания. Наибольшие разрушения при взрыве обычно обеспечивает ударная волна. Поэтому под центром взрыва принято понимать зону максимального воздействия ударной волны, возникающей при взрыве. В случае объемного взрыва центром взрыва является объем помещения или иного ограниченного пространства, которое занимает прореагировавшая смесь топлива с окислителем [23].

Для установления местонахождения центра взрыва, как правило, используют графический метод – с помощью графических редакторов строятся диаграммы сил, которые воздействовали при взрыве на окружающие объекты. Для этого специалист измеряет и наносит на план объекта величины деформаций и разрушения конструкций и предметов, других проявлений действия ударной волны, в том числе ударных воздействий на людей и животных. Причем необходимо учитывать, что наибольшее действие ударной волны наблюдается необязательно в центре взрыва (по мере удаления от центра взрыва ударная сила взрывной волны может нарастать).

Источник зажигания обычно находится в центре взрыва, но в случае объемного взрыва (дефлаграционного взрыва газопаропылевоздушной смеси) центр взрыва может быть локализован в пределах всего объема помещения (здания, сооружения, технологического агрегата и др.).

Картину взрыва определяют различные факторы: тип горючей среды (ТВС), природа, размер, объем и форма любого объекта или ограничивающей емкости, наличие отверстий в элементах строительных конструкций на пути ударной волны и пр. Природа этих факторов и их различные комбинации могут приводить к различным результатам.

Зачастую для ответа на поставленные органами следствия и дознания вопросы необходимо применение расчетных методов, которые также освещены в методике [23]. Данные методы включают:

- расчеты распространения горючих газов и паров;
- расчеты параметров горения и взрыва ТВС;
- расчеты критических параметров горения ТВС и вспомогательные расчеты.

В методике отражены как теоретические основы решения расчетных задач, так и приведены примеры практического использования расчетных методов в конкретных ситуациях, возникающих при экспертном исследовании пожаров и взрывов ТВС.

### **Заключение**

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения пожаров, связанных со взрывами ТВС, что обуславливается как объективными причинами (увеличение доли газифицированных объектов в стране, износ сетевого газового оборудования на ряде жилых и производственных объектов, ухудшение воздухообмена в помещениях газифицированных зданий вследствие проводимых перепланировок и т.д.), так и человеческим фактором (нарушение требований пожарной безопасности как при использовании газового оборудования, так и при оказании услуг по газоснабжению соответствующими организациями).

В статье проанализированы статистические данные по взрывам ТВС за период 2018–2022 гг., в результате чего установлено, что наибольшее количество взрывов (46 %) зафиксировано в жилом секторе. Взрывы ТВС на автотранспортных средствах и на производственных объектах занимали по статистике второе и третье место с 25 % и 19 % соответственно. Также исследование показало, что наибольшее количество происшествий приходилось на взрывы газоздушных смесей (метан, пропан, бутан и т.п.) – 62 %, исследование остатков которых на месте взрыва представляет определенные трудности. Кроме этого, рассмотрено несколько примеров взрывов ТВС, которые могут представлять сложности в их исследовании, что должно быть полезно в практической работе СЭУ ФПС МЧС России.

Также в ИЦЭП Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России разработана методика, которая учитывает особенности взрывов газопаропылевоздушных смесей, физические закономерности возникновения и развития пожаров после произошедших взрывов и позволяет сотрудникам и работникам СЭУ на высоком профессиональном уровне содействовать органам следствия и дознания в раскрытии дел, связанных с взрывным горением ТВС.



**Список источников**

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. / В.С. Гончаренко [и др.]. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. Семикашев В.В., Гайворонская М.С. Анализ текущего состояния и перспективы газификации России на период до 2030 г. // Проблемы прогнозирования. 2022. № 1 (190). С. 91–100. DOI: 10.47711/0868-6351-190-91-100.
3. Новак А.В. Социальный приоритет – газификация регионов // Энергетическая политика. 2020. № 11 (153). С. 4–11. DOI: 10.46920/2409-5516\_2020\_11153\_4.
4. Латышенко Г.И., Новосельский Н.К. Исследование ситуации и пути решения проблемы, связанной с чрезвычайными ситуациями, вызванными взрывами бытового газа в жилых домах // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 11 (101). Ч. 2. С. 96–99. DOI: 10.23670/IRJ.2020.101.11.049.
5. Полетаев Н.Л. Взрывоопасность пылей: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1998. 245 с.
6. Бондарь В.А., Любартович В.А. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. Т. 4. № 2 (14). С. 286–289.
7. Методология судебной пожарно-технической экспертизы (основные принципы) / С.П. Воронов [и др.]. М., 2013.
8. Baker W.E. Explosion hazards and evaluations. New York, NY: Elsevier Publishers, 1983.
9. Baker W.E., Tang M.J. Dust, and hybrid explosions. New York, NY: Elsevier Publishers, 1991.
10. Stull D.R. Fundamentals of fire and explosion // AICHE Monograph Series. № 10. Vol. 73. New York, NY: American institute of chemical engineers, 1977.
11. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов / А.В. Мишуев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 3. С. 49–56.
12. О взрывах природного газа и их последствиях в многоэтажном жилом секторе / Е.А. Сушко [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. № 3 (8). С. 20–23.
13. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: ВНИИПО МЧС России, 1998. 600 с.
14. Чешко И.Д., Юн Н.В., Плотников В.Г. Осмотр места пожара: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2004. 503 с.
15. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х кн. СПб.: ООО «Типография «Береста», 2012. 364 с. Кн. 2.
16. Bartknecht W. Dust Explosions. Berlin – New York: Springer-Verlag, 1989.
17. Center for chemical process safety. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs. Washington, DC: American institute of chemical engineers, 1994.
18. Eckhoff R.K. Dust explosions in the process industries. New York, NY: Butterworth-Heinemann, 1997.
19. Nettleton M.A. Gaseous Detonations; Their Nature, Causes and Control. New York, NY: Routledge, Chapman and Hall, 1987.
20. Павлюков С.П. Моделирование утечек газа из подземных газопроводов в аварийных ситуациях: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 119 с.
21. Gugan K. Unconfined vapor cloud explosions. Houston, TX: Gulf Publishing, 1978.
22. Harris R.J. The investigation and control of gas explosions in buildings and heating plants. London and New York: E & FN Spon, Ltd., 1983.
23. Применение физико-химических и расчетных методов в экспертном исследовании взрывов топливоздушных смесей: метод. пособие / И.Д. Чешко [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 169 с.

## References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. / V.S. Goncharenko [i dr.]. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii. 2022. 114 s.
2. Semikashev V.V., Gajvoronskaya M.S. Analiz tekushchego sostoyaniya i perspektivy gazifikacii Rossii na period do 2030 g. // Problemy prognozirovaniya. 2022. № 1 (190). S. 91–100. DOI: 10.47711/0868-6351-190-91-100.
3. Novak A.V. Social'nyj prioritet – gazifikaciya regionov // Energeticheskaya politika. 2020. № 11 (153). S. 4–11. DOI: 10.46920/2409-5516\_2020\_11153\_4.
4. Latyshenko G.I., Novosel'skij N.K. Issledovanie situacii i puti resheniya problemy, svyazannoj s chrezvychajnymi situacijami, vyzvannymi vzryvami bytovogo gaza v zhilyh domah // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2020. № 11 (101). Ch. 2. S. 96–99. DOI: 10.23670/IRJ.2020.101.11.049.
5. Poletaev N.L. Vzryvoopasnost' pylej: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M., 1998. 245 s.
6. Bondar' V.A., Lyubartovich V.A. Vzryvy promyshlennyh pylej i ih preduprezhdenie // Izvestiya MGTU «MAMI». 2012. T. 4. № 2 (14). S. 286–289.
7. Metodologiya sudebnoj pozharno-tekhniceskoy ekspertizy (osnovnye principy) / S.P. Voronov [i dr.]. M., 2013.
8. Baker W.E. Explosion hazards and evaluations. New York, NY: Elsevier Publishers, 1983.
9. Baker W.E., Tang M.J. Dust, and hybrid explosions. New York, NY: Elsevier Publishers, 1991.
10. Stull D.R. Fundamentals of fire and explosion // AICHE Monograph Series. № 10. Vol. 73. New York, NY: American institute of chemical engineers, 1977.
11. Osobennosti avarijnyh vzryvov vnuti zhilyh gazificirovannyh zdaniy i promyshlennyh ob"ektov / A.V. Mishuev [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21. № 3. S. 49–56.
12. O vzryvah prirodnoho gaza i ih posledstviyah v mnogoetazhnom zhilom sektore / E.A. Sushko [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2013. № 3 (8). S. 20–23.
13. Taubkin S.I. Pozhar i vzryv, osobennosti ih ekspertizy. M.: VNIPO MCHS Rossii, 1998. 600 s.
14. Cheshko I.D., Yun N.V., Plotnikov V.G. Osmotr mesta pozhara: metod. posobie. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2004. 503 s.
15. Cheshko I.D., Plotnikov V.G. Analiz ekspertnyh versij vznikoveniya pozhara: v 2-h kn. SPb.: OOO «Tipografiya «Beresta», 2012. 364 s. Kn. 2.
16. Bartknecht W. Dust Explosions. Berlin – New York: Springer-Verlag, 1989.
17. Center for chemical process safety. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs. Washington, DC: American institute of chemical engineers, 1994.
18. Eckhoff R.K. Dust explosions in the process industries. New York, NY: Butterworth-Heinemann, 1997.
19. Nettleton M.A. Gaseous Detonations; Their Nature, Causes and Control. New York, NY: Routledge, Chapman and Hall, 1987.
20. Pavlyukov S.P. Modelirovanie utechek gaza iz podzemnyh gazoprovodov v avarijnyh situacijah: dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 2010. 119 s.
21. Gugan K. Unconfined vapor cloud explosions. Houston, TX: Gulf Publishing, 1978.
22. Harris R.J. The investigation and control of gas explosions in buildings and heating plants. London and New York: E & FN Spon, Ltd., 1983.
23. Primenenie fiziko-himicheskikh i raschetnyh metodov v ekspertnom issledovanii vzryvov toplivovozdushnyh smesej: metod. posobie / I.D. Cheshko [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 169 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 23.06.2023; одобрена после рецензирования: 13.11.2023; принята к публикации: 24.11.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 23.06.2023; approved after review: 13.11.2023; accepted for publication: 24.11.2023

*Сведения об авторах:*

**Охотников Михаил Анатольевич**, ведущий научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), кандидат химических наук, e-mail: [mikehunter@mail.ru](mailto:mikehunter@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3956-8248>, SPIN-код: 7038-9800

**Гужва Александра Артуровна**, научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), кандидат технических наук, e-mail: [miftahutdinova@igps.ru](mailto:miftahutdinova@igps.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3746-4135>, SPIN-код: 6218-7076

**Клаптюк Ирина Викторовна**, начальник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), кандидат технических наук, e-mail: [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>, SPIN-код: 1976-9134

*Information about the authors:*

**Okhotnikov Mikhail A.**, a leading researcher at the department of instrumental methods and technical means of fire expertise at the research center for fire expertise of the Scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, Saint-Petersburg, Oktyabrskaya nab., 35), candidate of chemical sciences, e-mail: [mikehunter@mail.ru](mailto:mikehunter@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3956-8248>, SPIN: 7038-9800

**Guzhva Alexandra A.**, researcher at the department of instrumental methods and technical means of fire expertise of the research center for fire expertise of the Scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, Saint-Petersburg, Oktyabrskaya nab., 35), candidate of technical sciences, e-mail: [miftahutdinova@igps.ru](mailto:miftahutdinova@igps.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3746-4135>, SPIN: 6218-7076

**Klaptuk Irina V.**, head of the department of instrumental methods and technical means of fire expertise of the research center for fire expertise of the Scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, Saint-Petersburg, Oktyabrskaya nab., 35), candidate of technical sciences, e-mail: [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>, SPIN: 1976-9134