

Научная статья

УДК 614.849+614.835.3; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-2-22-34

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ОБСТОЯТЕЛЬСТВ АВАРИЙ С УЧАСТИЕМ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2014–2024 гг.

Осипчук Валерия Игоревна;

Дорошкевич Анна Сергеевна;

✉Ивахнюк Сергей Григорьевич.

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

Басова Екатерина Андреевна.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия

✉sgi78@mail.ru

Аннотация. Продemonстрирована необходимость поиска и анализа сведений о причинах и обстоятельствах аварий и инцидентов на опасных производственных объектах Российской Федерации, связанных с обращением горючих газов. Акцентируется внимание на том, что чек-листы аварий, формируемые Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, имеют значительный потенциал для обработки с помощью технологий искусственного интеллекта. На основе анализа ежегодных отчетов и чек-листов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору представлены сведения о распределении пожаров и взрывов на объектах защиты, в том числе по типу источника зажигания, виду выполняемых работ и области нарушений требований пожарной безопасности. Даны рекомендации по организации системы учета аварий и инцидентов на опасных производственных объектах.

Ключевые слова: статистика аварий, источник зажигания, взрыв газовой смеси, единая система газоснабжения, «пожарный треугольник»

Для цитирования: Осипчук В. И., Дорошкевич А. С., Ивахнюк С.Г., Басова Е.А. Анализ причин и обстоятельств аварий с участием горючих газов на опасных производственных объектах Российской Федерации в 2014–2024 гг. // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 2. С. 22–34. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-2-22-34.

Scientific article

ANALYSIS OF CAUSES AND CIRCUMSTANCES OF ACCIDENTS INVOLVING FLAMMABLE GASES AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION IN 2014–2024

Osipchuk Valeria I.;

Doroshkevich Anna S.;

✉Ivakhnyuk Sergey G.

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

Basova Ekaterina A.

✉sgi78@mail.ru

Abstract. The necessity of searching and analyzing information about the causes and circumstances of accidents and incidents at hazardous production facilities in the Russian Federation related to the handling of flammable gases is demonstrated. Attention is focused on the fact that the accident checklists generated by the Federal environmental, technological and nuclear supervision service have significant potential for processing using artificial intelligence technologies.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2025

Based on the analysis of the annual reports and checklists of the Federal environmental, technological and nuclear supervision service, information is provided on the distribution of fires and explosions at protection facilities, including by type of ignition source, type of work performed and the area of violations of fire safety requirements. Recommendations are given on the organization of an accident and incident accounting system at hazardous production facilities.

Keywords: accident statistics, ignition source, gas-air mixture explosion, unified gas supply system, «fire triangle»

For citation: Osipchuk V. I., Doroshkevich A. S., Ivakhnyuk S.G., Basova E.A. Analysis of the causes and circumstances of accidents involving flammable gases at hazardous production facilities in the Russian Federation in 2014–2024 // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 2. P. 22–34. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-2-22-34.

Введение

Рост мировой экономики не возможен без достаточного обеспечения ее процессов энергией. Несмотря на происходящую глобальную структурную трансформацию энергетики, спровоцированную шоковыми процессами политико-экономического характера, потребление первичных энергетических ресурсов по отношению к уровню 2012 г. выросло на 14 %. Газ продолжает играть ключевую роль (26 %) в структуре мирового потребления, уступая нефти (37 %) и углю (30 %) [1].

Текущее состояние минерально-сырьевой базы энергетических видов сырья в газовой отрасли, являющейся одной из основ экономики Российской Федерации, наглядно характеризуется первым местом в мире по запасам природного газа и вторым – по его добыче [2]. Прогнозируется, что динамика роста мирового спроса на газ будет уступать только темпам развития возобновляемых видов энергии. В глобальном смысле приходит осознание того, что газ является наиболее экономически оправданным и технологически зрелым вариантом декарбонизации.

Единая система газоснабжения и региональные подсистемы, функционирующие в существенно различающихся природно-климатических условиях, образуют фундамент энергетической инфраструктуры страны, являющейся одной из самых протяженных в мире. Для обеспечения энергетической безопасности государства необходимо поддержание ее технологического единства, надежности, управляемости, непрерывности и безопасности работы.

Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2050 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года», к основным задачам в газовой отрасли отнесены:

- обеспечение бесперебойных поставок природного газа потребителям;
- расширение газотранспортной инфраструктуры для переориентации экспортных поставок природного газа на рынки дружественных стран;
- развитие проектов по производству сжиженного природного газа для удовлетворения потребностей внутреннего рынка и эффективной реализации экспортного потенциала;
- увеличение потребления газа (включая сжиженный природный газ) на внутреннем рынке [3].

Все вышесказанное объясняет существенную необходимость поиска и анализа сведений о причинах и обстоятельствах аварий и инцидентов на опасных производственных объектах с обращением горючих газов. Понимание причин и предпосылок таких аварий позволит оценивать риск их возникновения и заблаговременно разрабатывать организационные, инженерные и специальные мероприятия, направленные на предотвращение сопутствующих им материального ущерба, гибели и увечья людей.

Методы исследования

В качестве основного источника информации в исследовании об обстоятельствах аварий и инцидентов на объектах газоснабжения и газового хозяйства Российской Федерации в ретроспективе до 2014 г. выступили чек-листы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), содержащие описание, последствия и причины 140 происшествий [4]. Для удобства анализа данные чек-листов были систематизированы посредством их преобразования в табличный формат по целому ряду введенных авторами атрибутов и представлены в виде базы данных [5].

Здесь следует отметить, что структура и формат представления данных чек-листов демонстрируют широкие возможности их обработки с помощью технологий искусственного интеллекта. Однако их малое количество затрудняет реализацию этого процесса, ведь, по мнению специалистов, предпочтительно, чтобы обучающие выборки для машинного обучения состояли из нескольких десятков тысяч объектов. Стоит вспомнить слова знаменитого американского предпринимателя и общественного деятеля Илона Маска, который в январе 2025 г. в прямом эфире одной из социальных сетей заявил, что совокупный объем человеческих знаний был исчерпан при обучении искусственного интеллекта, и технологическим фирмам теперь придется обращаться к «синтетическим» данным (материалам, созданным с помощью моделей искусственного интеллекта) [6].

В исследовании был принят во внимание тот важный момент, что на сайте Ростехнадзора представлены чек-листы не всех аварий для выбранной области исследований, которую ограничили объекты надзора за опасными производственными объектами газоперерабатывающей промышленности, магистрального трубопроводного транспорта, газодобычи, а также газораспределения и газопотребления.

Результаты исследования

Проведенный анализ показал, что общее количество аварий на указанных выше объектах защиты и количество аварий, для которых представлены чек-листы, приемлемо для целей настоящего исследования коррелируют друг с другом, что наглядно продемонстрировано на рис. 1.



Рис. 1. Распределение аварий на объектах газоснабжения и газового хозяйства Российской Федерации по годам (2014–2020 гг.)

Значение общего количества аварий на рис. 1 соответствует данным ежегодных докладов о результатах деятельности Ростехнадзора за период с 2014 по 2020 г. [7]. Интервал выбранной ретроспективы объясним с позиции того, что для последующих периодов данные докладов не позволяют вычлнить сведения для объектов, которые можно однозначно отнести именно к газовой отрасли. С учетом изложенного, полученные в исследовании результаты способны дать объективное представление о причинах и обстоятельствах аварий для выбранной категории объектов защиты в целом.

Также важно отметить, что авторами не учитывались аварии на объектах исследования, причинами которых явились обстрелы из систем ракетного и артиллерийского вооружения, а также атаки беспилотных летательных аппаратов, в связи с отсутствием исходных данных в открытом доступе. При этом в настоящее время объекты газоснабжения и газового хозяйства различной хозяйственной принадлежности становятся первоочередными целями милитаризованных террористических атак, направленных на срыв бесперебойного снабжения топливом стратегических потребителей как в гражданской, так и в оборонной сферах [8].

На рис. 1 показано увеличение ежегодного количества аварий с 2014 г. до нарастания с максимальным значением в 2017 г., после чего произошло снижение данного показателя с его дальнейшей стабилизацией.

Согласно изученным чек-листам аварий в их результате за 2014–2024 гг. пострадало 111 чел., погибло – 28 (рис. 2). Статистика достаточно тревожная, особенно с учетом того, что чек-листы в среднем покрывают общую статистику аварий на 25–30 %.



Рис. 2. Количество погибших и пострадавших в результате аварий на объектах газоснабжения и газового хозяйства Российской Федерации по годам

Также обнаружено, что количество погибших и пострадавших в результате аварий не отвечает выявленной и продемонстрированной на рис. 1 их динамике. Так, наибольшее количество пострадавших зафиксировано в 2021 г. (37 чел.), а погибших – в 2016 г. (8 чел.). Не коррелируют показатели погибших и пострадавших и между собой – как в целом для годового значения, так и для отдельных конкретных случаев. Проведенный анализ показал разнонаправленность полученных результатов: в один год может превалировать количество пострадавших, а в другой – погибших.

Совокупный материальный ущерб в результате аварий для исследованной выборки превысил 17,5 млрд руб. (рис. 3).

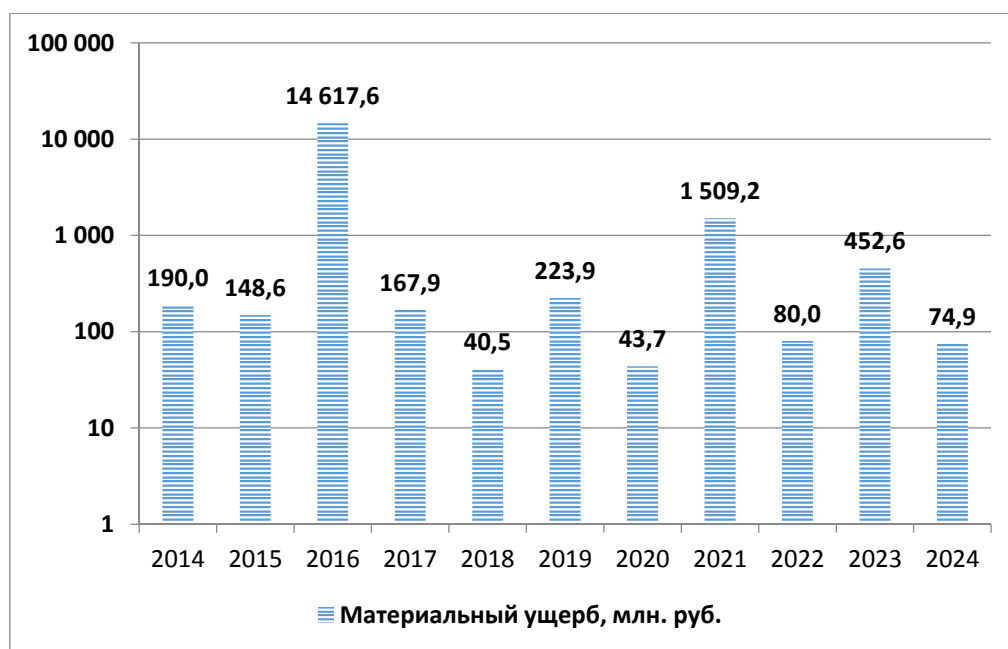


Рис. 3. Материальный ущерб, причиненный авариями по годам (2014–2024 гг.)

Одна из самых значительных по причиненному ущербу аварий произошла в июле 2016 г. на установке гидрокрекинга газокаталитического производства предприятия «Башнефть-Уфанефтехим» (рис. 4).



Рис. 4. Последствия аварий на установке гидрокрекинга предприятия «Башнефть-Уфанефтехим» [9]

В результате разгерметизации секции аппарата воздушного охлаждения вследствие коррозионно-эрозионного износа теплообменных трубок входного коллектора произошла потеря устойчивости конструкции аппарата и разрушение коллектора с выбросом парогазовой фазы продуктов реакции в смеси с водородсодержащим газом, ее воспламенением и последующими двумя взрывами. Пострадали восемь работников предприятия, из которых шесть получили смертельные травмы, экономический ущерб превысил 14,5 млрд руб. [9]. Таким образом, достаточно показательным примером является то, что экономический ущерб одной из 140 аварий составляет 83 % от суммарного его значения.

В части распределения аварий по типу объекта защиты следует отметить, что в 39 % случаев (55 ед.) они произошли на распределительных сетях (рис. 5).



Рис. 5. Распределение аварий по типу объекта защиты (2014–2024 гг.)

В свою очередь аварии на оборудовании котельных, объектах газодобычи, оборудовании промышленных установок и магистральных газопроводах распределены достаточно равномерно в интервале 11–16 % от общего числа происшествий. Замыкают список по аварийности происшествия на автомобильных газозаправочных станциях, составляющие 6 % от общего числа аварий (9 ед.).

Стоит обратить внимание, что 56 % изученных аварий связаны с производством ремонтных и пуско-наладочных работ на объекте, а также с выполнением спуско-подъемных операций на скважинах (рис. 6). На режим плановой эксплуатации приходятся оставшиеся 44 % произошедших аварий.

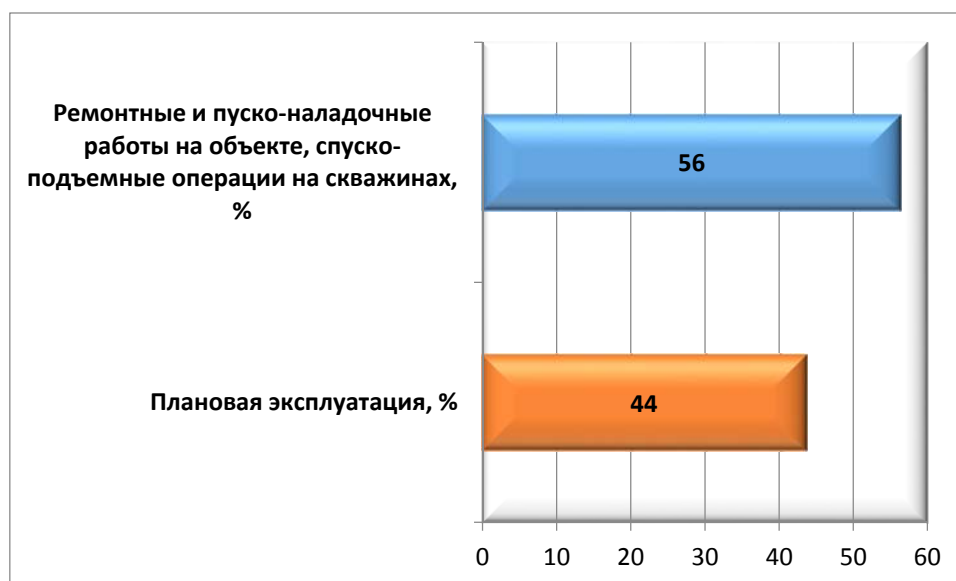


Рис. 6. Распределение аварий по режиму эксплуатации объекта защиты (2014–2024 гг.), %

Полученные данные в очередной раз подтверждают тезис о том, что в большинстве своем аварии и инциденты связаны с процедурами кратко- или долгосрочного останова оборудования и последующего его запуска, а также с образованием или внесением горючего компонента (аэрозоли, пары легко-воспламеняющихся жидкостей и др.) в замкнутые объемы при выполнении ремонтных работ.

Для разработки и реализации мероприятия по локализации последствий и профилактики аварий наиважнейшим вопросом является выявление причинно-следственных связей между событиями, явившимися их причиной и последствиями. Распределение аварий по установленным комиссиями Ростехнадзора причинам представлено на рис. 7.

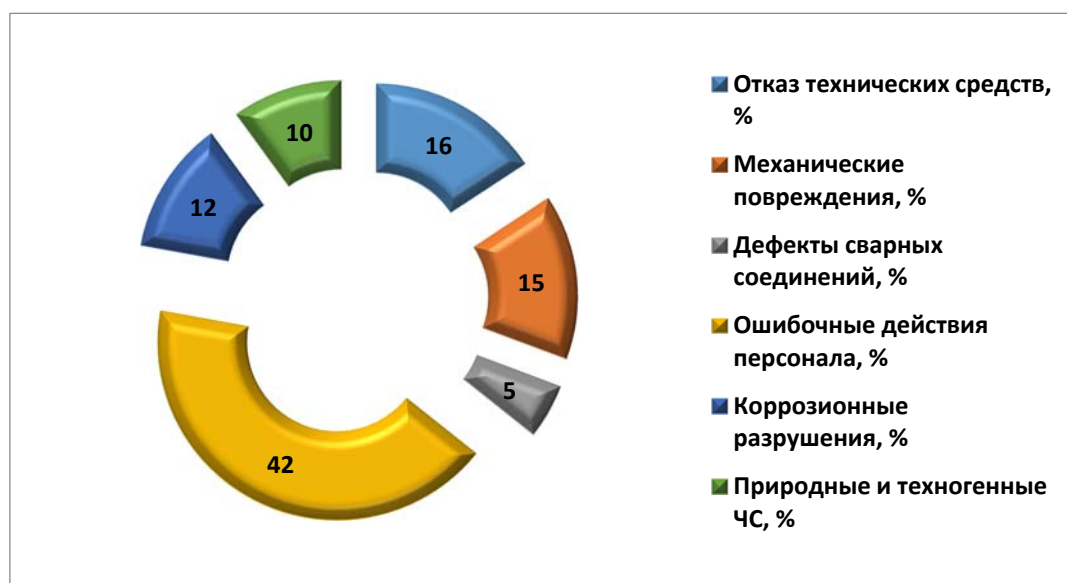


Рис. 7. Распределение аварий по установленным комиссиями Ростехнадзора причинам (2014–2024 гг.)

Так, согласно результатам работы комиссий Ростехнадзора, в рассматриваемой ретроспективе наиболее существенный негативный вклад внесли ошибочные действия персонала, ставшие причиной аварий в 59 случаях из 140 рассмотренных в исследовании (42 %). В интервале 10–16 % от общего числа аварий, установленными их причинами стали (в порядке убывания) отказ технических средств, механические повреждения, коррозионные разрушения, а также природные и техногенные чрезвычайные ситуации, к которым в исследовании отнесены прямые удары молний, оползни и несколько дорожно-транспортных происшествий. На последнем по частоте проявления месте, с показателем в 5 % от общего числа аварий, находятся причины, проявившиеся в результате некачественного выполнения регламента сварочных работ, но при этом не связанные с последующим коррозионным разрушением исполненных сварных швов.

На рис. 8 представлено распределение аварий по характеру их последствий, за основные из которых были приняты выброс, возгорание и взрыв.

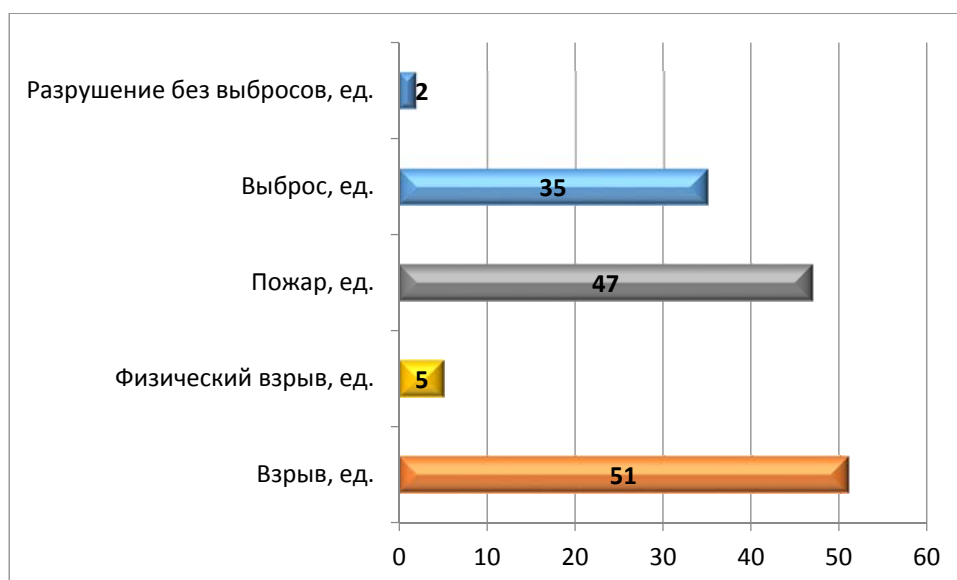


Рис. 8. Распределение аварий по характеру последствий (2014–2024 гг.), ед.

Важно отметить, что в исследованной выборке химические взрывы и пожары произошли в 51 и 47 случаях (36 % и 34 %) соответственно, что совокупно составляет 70 % от общего числа аварий, тогда как на физические взрывы, выбросы и разрушения без выбросов приходится около трети случаев (30 %). Это в первую очередь указывает на то, что в большинстве случаев вблизи точки выхода горючего вещества или на пути его пространственного распространения находился источник зажигания, обладающий энергией, достаточной для воспламенения выбрасываемого фонтана или облака газовой смеси. Полученные результаты доказывают необходимость пересмотра как технологических подходов, применяемых на типовых объектах защиты, так и пристального внимания к применяемым для изготовления оборудования материалам [10].

Следует обратить внимание, что в работах последних лет серьезному пересмотру подвергаются такие базовые для учебной пожарно-технической литературы понятия как, например, «пожарный треугольник» (рис. 9), с использованием которого рассматриваются условия возникновения горения. Так, по мнению профессора Я.С. Киселева, в существующем классическом подходе достаточные условия для возникновения горения не рассматриваются [11]. Фактически, неявное в существующей модели средство, активирующее химические процессы, и теплофизические условия, при которых эти процессы приводят к горению, объединены единым понятием «источник зажигания».

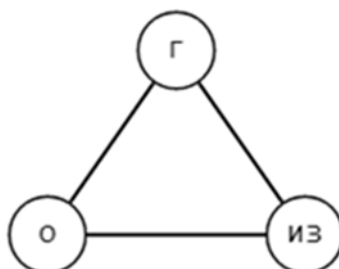


Рис. 9. Классический «пожарный треугольник»
(Г – горючее, О – окислитель, ИЗ – источник зажигания)

Согласно теории профессора Я.С. Киселева для возникновения горения необходимы три составляющие: горючая среда (горючее плюс окислитель), средство, активирующее в ней окислительные процессы, а также теплофизические условия для возникновения горения. По мнению авторов, на основе «пожарного треугольника» профессора Я.С. Киселева может быть пересмотрена вся система предупреждения пожаров (рис. 10).

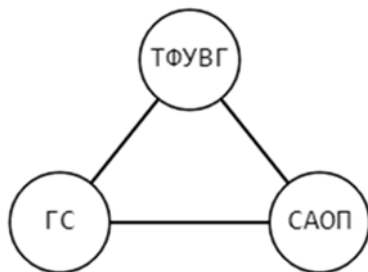


Рис. 10. «Пожарный треугольник» профессора Я.С. Киселева
(ГС – горючая среда, ТФУВГ – теплофизические условия для возникновения горения, САОП – средство, активирующее окислительные процессы)

На рис. 11 представлено распределение аварий по типу средства, активирующего окислительный процесс (источнику зажигания). В большинстве случаев этими средствами стали открытое пламя и высоконагретые поверхности – 40 % случаев, на втором месте – фрикционные искры с показателем в 28 %, на третьем – разнообразие средств электрической природы: короткое замыкание, электрическая дуга, занос высокого потенциала – 21 % случаев. Достаточно редкими оказались выделенные в отдельную категорию разряды статического электричества, а также прямые удары молнии и пирофорные отложения, давшие в совокупности 8 %.



Рис. 11. Распределение аварий по типу средства, активирующего окислительный процесс (2014–2024 гг.), %

Здесь важно отметить, что распределение дано только для тех случаев, в которых чек-листы содержат соответствующую информацию. К сожалению, источник зажигания определен чек-листами только для 58 из 103 аварий, сопровождаемых взрывами и возгораниями,

то есть для чуть больше половины случаев (56 %). Указанная информация ориентирует на необходимость рекомендовать обязательное внесение в чек-листы сведений об источнике зажигания, если он был установлен в процессе расследования причин и обстоятельств аварий.

На рис. 12 представлено распределение аварий по области нарушений требований нормативно-технической базы. Наибольшее количество аварий – 53 случая из 140 (38 %) связано с нарушениями в области контроля за ходом строительства, а также приемки строительно-монтажных работ. Второе место с показателем 45 % занимают нарушения технологии и правил проведения работ. На отступления от проектных решений приходится 25 случаев аварий (18 %). Замыкают распределение аварии, связанные с отсутствием мониторинга технического состояния оборудования и автоматики, а также нарушения правил дорожного движения.

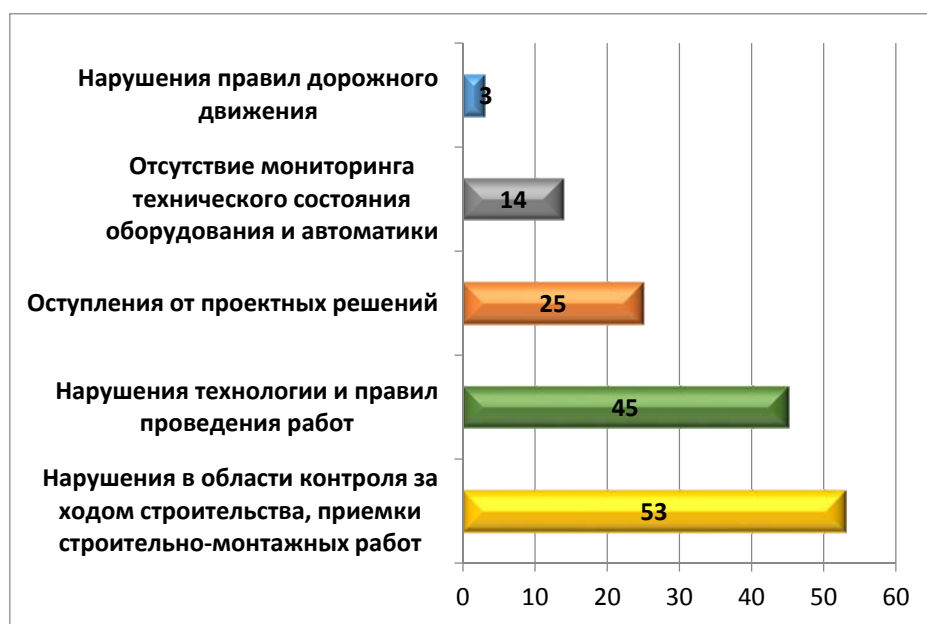


Рис. 12. Распределение аварий по области нарушений требований нормативно-технической базы (2014–2024 гг.), ед.

Распределение аварий, представленное на рис. 12, показывает, что значительная их доля может быть связана с проявлениями халатного и недобросовестного исполнения обязанностей должностными лицами хозяйствующих субъектов, для целого ряда из которых может иметь место коррупционная составляющая.

Заключение

В исследовании проведены поиск, систематизация и анализ статистических данных по авариям на опасных производственных объектах Российской Федерации, связанных с обращением горючих газов в 2014–2024 гг.

Выявлен и проанализирован характер распределения аварийных событий по типу объекта защиты и режиму его эксплуатации, по причинам и последствиям аварий, а также по источнику зажигания и области нарушений требований нормативно-технической базы.

Определено, что в 74 % случаев аварийное истечение горючего газа сопровождалось возгоранием или взрывом. Показано, что чаще всего (40 % случаев) в качестве источника зажигания газового фонтана или облака газозооушной смеси выступает открытое пламя и высоконагретые поверхности. Наиболее часто аварии происходят в режиме производства ремонтных и пуско-наладочных работ на объектах защиты, а также выполнения спуско-подъемных операций на скважинах.

– в случае произошедшего в результате аварии возгорания или взрыва в чек-листах аварий Ростехнадзора необходимо в обязательном порядке указывать установленный источник зажигания.

11. О понятии «источник зажигания» и его роли в системе пожарной безопасности / Я.С. Киселев [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2000. № 3 (7). С. 57–61.

3. Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossijskoj Federacii na period do 2050 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 12 apr. 2025 g. № 908-r. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

4. Uroki, izvlechenne iz avarij. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (data obrashcheniya: 10.03.2025).
5. Svedeniya ob avariayah na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektah gazosnabzheniya i gazovogo hozyajstva Rossijskoj Federacii v 2014–2024 gg.: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2024625881, 11.12.2024. Zayavka ot 25.11.2024.
6. Ilon Mask: iskusstvennyj intellekt ischerpal dannye chelovechestva. URL: <https://www.ixbt.com/news/2025/01/09/ilon-mask-iskusstvennyj-intellekt-ischerpal-dannye-chelovechestva.html> (data obrashcheniya: 18.04.2025).
7. Ezhegodnye otchety o deyatelnosti Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (data obrashcheniya: 18.04.2025).
8. Ivahnyuk S.G., Petrova N.V., Pleshakov V.V. Pozhary i vzryvy na ob"ektah neftepererabotki i nefteproduktoobespecheniya Rossii v 2018–2022 gg. // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2024. № 1 (42). S. 90–102.
9. Uroki, izvlechenne iz avarij. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2016%20%d0%b3%d0%be%d0%b4/> (data obrashcheniya: 20.04.2025).
10. Ivahnyuk S.G. Analiz nomenklatury i rekomendacii po ispol'zovaniyu korrozionno-stojkih konstrukcionnykh materialov v neftegazovoj otrasli // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peter. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 1. S. 11–21.
11. O ponyatii «istochnik zazhiganiya» i ego roli v sisteme pozharnej bezopasnosti / Ya.S. Kiselev [i dr.] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. 2000. № 3 (7). S. 57–61.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.05.2025; одобрена после рецензирования: 23.06.2025;
принята к публикации: 25.06.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 15.05.2025; approved after review: 23.06.2025;
accepted for publication: 25.06.2025

Информация об авторах:

Осипчук Валерия Игоревна, инженер отдела сертификации научно-технической продукции в области пожарной безопасности научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), e-mail: v.osipchuk@igps.ru, SPIN-код: 6248-5290

Дорошкевич Анна Сергеевна, командир взвода факультета экономики и права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), e-mail: a.vaily@inbox.ru

Ивахнюк Сергей Григорьевич, заместитель начальника научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), кандидат технических наук, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Басова Екатерина Андреевна, аспирант кафедры инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 24-26/49), e-mail: basovakatya09@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5096-6562>

Information about authors:

Osipchuk Valeria I., engineer of the department of certification of scientific and technical products in the field of fire safety at the scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: v.osipchuk@igps.ru, SPIN-код: 6248-5290

Doroshkevich Anna S., platoon commander at the faculty of economics and law of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: a.vaily@inbox.ru

Ivakhnyuk Sergey G., deputy head of the scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Basova Ekaterina A., postgraduate student of Chair of Environmental Engineering of St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University) (190013, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 24-26/49), e-mail: basovakatya09@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5096-6562>