

ЭВОЛЮЦИЯ ВЫЗОВОВ И ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ, ВХОДЯЩИХ В ИНФРАСТРУКТУРУ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

✉Дмитрий Федорович Кожевин;

Екатерина Владимировна Радова.

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

✉Yagmort_KDF@mail.ru

Аннотация. Представлен ретроспективный анализ динамики пожаров на объектах инфраструктуры нефтяной промышленности за период 2015–2024 гг., выявлены ключевые факторы риска и системные проблемы в области прогнозирования опасных параметров пожаров. Особое внимание уделено кардинальному изменению структуры рисков в последние годы, связанному с появлением новых антропогенных угроз, в частности атак беспилотных летательных аппаратов. На основе критического анализа существующих методик расчета параметров пожаров (площадь пролива, высота факела) обоснована необходимость пересмотра нормативно-методической базы и внедрения адаптивных стратегий управления рисками, интегрирующих технологические инновации, вероятностное моделирование и междисциплинарный подход.

Ключевые слова: пожарная безопасность, нефтяная промышленность, статистика, атаки беспилотных летательных аппаратов, площадь пролива, высота факела пламени, эволюция угроз

Для цитирования: Кожевин Д.Ф., Радова Е.В. Эволюция вызовов и подходов к обеспечению пожарной безопасности объектов, входящих в инфраструктуру нефтяной промышленности // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2025. № 4 (56). С. 13–18. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-4-13-18.

Analytical article

THE EVOLUTION OF CHALLENGES AND APPROACHES TO ENSURING FIRE SAFETY OF FACILITIES INCLUDED IN THE INFRASTRUCTURE OF THE OIL INDUSTRY

✉Kozhevin Dmitriy F.,

Radova Ekaterina V.

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

✉Yagmort_KDF@mail.ru

Abstract. The article presents a retrospective analysis of the dynamics of fires at oil industry infrastructure facilities for the period 2015–2024, identifies key risk factors and systemic problems in predicting dangerous fire parameters. Special attention is paid to the drastic change in the risk structure in recent years associated with the emergence of new anthropogenic threats, in particular attacks by unmanned aerial vehicles. Based on a critical analysis of existing methods for calculating fire parameters (spill area, flare height), the need for a review of the regulatory and methodological framework and the introduction of adaptive risk management strategies integrating technological innovations, probabilistic modeling and an interdisciplinary approach is substantiated.

Keywords: fire safety, oil industry, statistics, unmanned aerial vehicles attacks, spill area, flame flare height, threat evolution

For citation: Kozhevnikov D.F., Radova E.V. The evolution of challenges and approaches to ensuring fire safety of facilities included in the infrastructure of the oil industry // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2025. № 4 (56). P. 13–18. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-4-13-18.

Введение

За 35 лет своей деятельности МЧС России прошло путь от ликвидации последствий крупномасштабных катастроф к формированию проактивной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Одной из наиболее сложных и социально значимых сфер ответственности остается обеспечение безопасности объектов критической инфраструктуры, к которым относятся объекты нефтяной промышленности. Россия, будучи одним из мировых лидеров по добыче и экспорту нефти, обладает развитой сетью нефтехранилищ, нефтеперерабатывающих заводов и магистральных трубопроводов, чья аварийность сопряжена с колоссальными экономическими, экологическими и социальными последствиями [1, 2].

Эволюция подходов к безопасности в этой отрасли отражает общую динамику: от борьбы с последствиями – к глубокому анализу причин, от точечных мер – к системному риск-ориентированному управлению.

Прошлое: анализ накопленной статистики и классически риски (2015–2021 гг.)

Статистический анализ пожаров на объектах инфраструктуры нефтяной промышленности (ИНП) за период 2015–2021 гг. позволяет выявить устойчивые, «хронические» закономерности возникновения ЧС. Для проведения анализа были использованы данные официальных источников, включая ежегодные статистические сборники ФГБУ ВНИИПО МЧС России [3] и обобщенные отчеты Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [4]. Отечественные и зарубежные исследования указывают на схожий набор основных причин [5–7]:

- нарушение технологического процесса (до 47 % случаев) – несоблюдение регламентов, ошибки при проведении операций;
- технические неисправности оборудования (21 %) – износ трубопроводов, резервуаров, насосного оборудования;
- статическое электричество (12 %) и человеческий фактор (3 %);
- внешние факторы (17 %), под которыми традиционно понимались удары молний, природные катаклизмы и, в меньшей степени, поджоги.

Динамика числа пожаров в этот период демонстрирует определенную цикличность, связанную с экономическими факторами, сезонностью и последствиями крупных единичных аварий. Период пандемии COVID-19 (2020–2021 гг.) характеризовался временным снижением операционной активности, вследствие этого произошло некоторое снижение количества инцидентов.

Нормативная и методическая база, формировавшаяся в этот период, в основном ориентирована на противодействие «классическим» рискам. Реформирование в рамках закона «О промышленной безопасности» [8], модернизация инфраструктуры (например, замена 15 % устаревших резервуарных парков по данным ПАО «НК «Роснефть» [9]), внедрение систем мониторинга – все эти меры были направлены на системное повышение контроля и позволили в определенной степени стабилизировать ситуацию с хроническими рисками.

Настоящее: смена парадигмы и новые антропогенные угрозы (2022–2024 гг.)

Начиная с 2022 г., ландшафт рисков на объектах ИНП претерпел кардинальные изменения. На первый план вышли специфические факторы, ранее не имевшие столь значительного веса:

1. Атаки беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Данный фактор стал ключевым драйвером роста числа пожаров в 2022–2024 гг. В 2024 г. произошло двукратное увеличение количества пожаров, связанных с внешним воздействием, с высокой долей вероятности обусловленное атаками БПЛА [1].

2. Влияние санкционного режима, затруднившего модернизацию и поддержание парка оборудования.

3. Ускоренное устаревание оборудования на фоне ограничений.

Воздействие атак БПЛА вносит структурные изменения в саму логику развития аварии. Оно исключает этап задержки воспламенения – ключевой элемент в классических «деревьях событий», регламентированных приказом МЧС России № 533 [10]. Вместо сценария «утечка испарение накопление горючей смеси воспламенение» реализуется принципиально иной, комбинированный сценарий, описываемый цепочкой «мгновенная разгерметизация + внесение источника зажигания» [1, 5]. Это приводит к:

- синхронизации инициирующих событий;
- увеличению площади горения проливов из-за отсутствия времени на локализацию;
- росту тепловой нагрузки и усложнению тушения.

Существующая нормативная база, включая методики оценки рисков, не предусматривает учет умышленных антропогенных угроз такого масштаба, что создает критический разрыв между регламентированными процедурами и реальными вызовами.

Будущее: необходимость адаптации нормативно-методического аппарата

Одним из системных противоречий, обострившихся в новых условиях, является неадекватность существующих методик прогнозирования параметров пожаров. На основе комплексного исследования методик расчета площади разлива и высоты факела пламени, применяемые регламентированные подходы демонстрируют неприемлемо высокий разброс результатов [5–7, 11, 12].

Сравнительный анализ восьми методик расчета площади пролива и пяти методик расчета высоты факела для сценария полного разрушения типового резервуара РВС-10 000 показал, что результаты варьируются в широких пределах. Например, расчетная площадь пролива для 10 000 м³ нонана колеблется от 75 000 м² до 5 000 000 м². Еще более драматичный разброс наблюдается в расчетах высоты факела – от ~108 м до более 4 300 м [13–15].

При этом верификация с помощью современного программного комплекса вычислительной гидродинамики Fire Dynamics Simulator показывает, что результаты численного моделирования в 3–5 раз ниже данных, полученных по большинству нормативных методик. Это указывает на то, что многие методики, разработанные для компактных очагов, не учитывают специфику крупномасштабных турбулентных пожаров, влияние ветра и реальной топографии.

Площадь горения пролива, являющаяся ключевым параметром для оценки интенсивности теплового излучения и масштабов вторичных возгораний (эффект «домино») [16], в современных условиях зачастую определяется некорректно. Это ставит под сомнение адекватность оценок пожарного риска и планирования мер по его минимизации.

Стратегические ориентиры для будущего системы безопасности

Минимизация пожарных рисков на объектах ИНП в условиях новых вызовов требует реализации адаптивных стратегий, основанных на следующих принципах:

1. Актуализация нормативно-методической базы. Пересмотр и валидация существующих методик оценки рисков и расчета параметров пожаров на основе современных методов компьютерного моделирования и данных лабораторных экспериментов. Методики должны быть адаптированы для учета сценариев с мгновенным воспламенением и комбинированных атак.

2. Внедрение вероятностного моделирования внешних угроз. Действующие методики должны быть дополнены модулями, позволяющими количественно оценивать уязвимость инфраструктуры к воздействию БПЛА и другим умышленным действиям.

3. Развитие системы защиты от атак БПЛА. Разработка и внедрение на объектах ИНП комплексов технической защиты, включающих средства обнаружения, идентификации и нейтрализации беспилотников.

4. Фокус на прогнозировании «эффекта домино». Совершенствование методик должно быть направлено на точный количественный прогноз площади горения проливов как критического параметра для моделирования каскадного развития аварий.

5. Межведомственное взаимодействие и подготовка кадров. Обеспечение безопасности требует тесной интеграции усилий МЧС России, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, нефтяных компаний и научного сообщества, а также подготовки специалистов, владеющих современными методами риска-анализа и моделирования.

Заключение

35-летний путь МЧС России – это путь постоянной адаптации к меняющемуся миру угроз. Анализ пожаров на объектах нефтяной промышленности демонстрирует эту динамику: от борьбы с традиционными технологическими рисками к противостоянию сложным, гибридным угрозам, таким как атаки БПЛА.

Существующие методики расчета, сыгравшие важную роль в прошлом, сегодня зачастую неадекватны. Будущее промышленной безопасности заключается в интеграции технологий, данных и междисциплинарных знаний. Разработка и внедрение усовершенствованных, валидированных методик, учитывающих новые сценарии рисков, станет не просто техническим усовершенствованием, а стратегическим вкладом в устойчивое развитие и национальную безопасность страны, продолжая традиции МЧС России по защите жизни, здоровья и имущества граждан.

Список источников

1. Кожевин Д.Ф., Радова Е.В. Анализ пожаров на объектах хранения и переработки нефти // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России. 2025. С. 77–81.

2. Ивахнюк С.Г., Петрова Н.В., Плешаков В.В. Пожары и взрывы на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения России в 2018–2022 гг. // Техносферная безопасность. 2024. № 1 (42). С. 90–102.

3. Статистические сборники ФГБУ ВНИИПО МЧС России с 2015 по 2023 гг. Пожары и пожарная безопасность: информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. URL: <https://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/federalnyy-bank-dannykh-pozhary/> (дата обращения: 03.02.2025).

4. Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист. 2015–2024 гг. // Официальный сайт Федеральной службы по экологическому и атомному надзору. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (дата обращения: 17.02.2025).

5. Швырков С.А., Батманов С.В. Методика прогнозирования площадей разливов нефти и нефтепродуктов при разрушениях вертикальных стальных резервуаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2008. № 1. С. 117–124.

6. Швырков С. А., Воробьев В.В. Анализ методов оценки площади пролива жидкости при квазимгновенном разрушении резервуара // Технологии техносферной безопасности. 2023. № 1 (99). С. 17–32.

7. Швырков С.А. Обеспечение пожарной безопасности нефтебаз ограничением разлива нефтепродуктов при разрушениях вертикальных стальных резервуаров: дисс. ... канд. техн. наук. М.: 2001. 180 с.

8. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон Рос. Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант».

9. Годовые отчеты 2015–2024 гг. // Официальный сайт ПАО «НК «Роснефть». URL: https://www.rosneft.ru/Investors/statements_and_presentations/annual_reports/?ysclid=m7ukl249b0261794220 (дата обращения: 20.02.2025).

10. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант».

11. Разработка зависимости по определению площади пролива для горючих и легковоспламеняющихся жидкостей / Ф.Ш. Хафизов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 4 (106). С. 183–192.

12. Халиков В.Д. Совершенствование метода расчета площади аварийного пролива нефти для технологических трубопроводов: дисс. ... канд. техн. наук, 2017. 129 с.

13. Thomas P.H. The size of flames from natural fires // Symposium on Combustion. 1963. P. 844–859.

14. Bubbico R., Dusserre G., Mazzarotta B. Calculation of the Flame Size from Burning Liquid Pools // Chemical Engineering Transactions. 2016. № 53. 67–72.

15. Accident Consequence Simulation Analysis of Pool Fire in Fire Dike / Miao Zh. [et al.] // Procedia Engineering. 2014. № 10. P. 469.

16. Волков О.М. Версия «Домино» на пожаре группы РВС-20000 на линейной производственно-диспетчерской станции «Конда» // Технологии техносферной безопасности. 2013. № 3 (49). С. 3.

References

1. Kozhevin D.F., Radova E.V. Analiz pozharov na ob'ekтах hraneniya i pererabotki nefti // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf., SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii. 2025. S. 77–81.

2. Ivahnyuk S.G., Petrova N.V., Pleshakov V.V. Pozhary i vzryvy na ob'ekтах neftepererabotki i nefteproduktobespecheniya Rossii v 2018–2022 gg. // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2024. № 1 (42). S. 90–102.

3. Statisticheskie sborniki FGBU VNIPO MCHS Rossii s 2015 po 2023 gg. Pozhary i pozharnaya bezopasnost': informacionno-analiticheskij sbornik. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii. URL: <https://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/federalnyy-bank-dannykh-pozhary/> (data obrashcheniya: 03.02.2025).

4. Uroki, izvlechenye iz avarij. CHEk-list. 2015–2024 gg. // Oficial'nyj sayt Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu i atomnomu nadzoru. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (data obrashcheniya: 17.02.2025).

5. SHvyrkov S.A., Batmanov S.V. Metodika prognozirovaniya ploshchadej razlivov nefti i nefteproduktov pri razrusheniyah vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2008. № 1. S. 117–124.

6. SHvyrkov S. A., Vorob'ev V.V. Analiz metodov ocenki ploshchadi proliva zhidkosti pri kvazimgnovennom razrushenii rezervuara // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2023. № 1 (99). S. 17–32.

7. SHvyrkov S.A. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti neftebaz ograniceniem razliva nefteproduktov pri razrusheniyah vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov: diss. ... kand. tekhn. nauk. M.: 2001. 180 s.

8. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон Рос. Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант»

9. Godovye otchety 2015–2024 gg. // Oficial'nyj sayt PAO «НК «Rosneft'». URL: https://www.rosneft.ru/Investors/statements_and_presentations/annual_reports/?ysclid=m7ukl249b0261794220 (data obrashcheniya: 20.02.2025).

10. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh: prikaz MCHS Rossii ot 26 iyunya 2024 g. № 533. Dostup iz inform.-pravovoj sistemy «Garant»
11. Razrabotka zavisimosti po opredeleniyu ploshchadi proлива dlya goryuchih i legkovosplamenyayushchihsya zhidkostej / F.SH. Hafizov [i dr.] // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov. 2016. № 4 (106). S. 183–192.
12. Halikov V.D. Sovershenstvovanie metoda rascheta ploshchadi avarijnogo proлива nefti dlya tekhnologicheskikh truboprovodov: diss. ... kand. tekhn. nauk, 2017. 129 s.
13. Thomas P.H. The size of flames from natural fires // Symposium on Combustion. 1963. P. 844–859.
14. Bubbico R., Dusserre G., Mazzarotta B. Calculation of the Flame Size from Burning Liquid Pools // Chemical Engineering Transactions. 2016. № 53. 67–72.
15. Accident Consequence Simulation Analysis of Pool Fire in Fire Dike / Miao Zh. [et al.] // Procedia Engineering. 2014. № 10. P. 469.
16. Volkov O.M. Versiya «Domino» na pozhare gruppy RVS-20000 na linejnoy proizvodstvenno-dispatcherskoj stancii «Konda» // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2013. № 3 (49). S. 3.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.10.2025; одобрена после рецензирования: 19.11.2025; принята к публикации: 29.11.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.10.2025; approved after review: 19.11.2025; accepted for publication: 29.11.2025

Информация об авторах:

Кожевин Дмитрий Федорович, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Yagmort_KDF@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>, SPIN-код: 9647-7196.

Радова Екатерина Владимировна, Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: radova_ev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4687-6692>, SPIN-код: 3992-9600

Information about the authors:

Kozhevin Dmitriy F., chief of the physical and chemical bases of the burning and extinguish of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: Yagmort_KDF@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>, SPIN: 9647-7196

Radova Ekaterina V., adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: radova_ev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4687-6692>, SPIN: 3992-9600