

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021. Т. 30. № 5. С. 5–22

POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021; 30(5):5-22

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22>

Сравнительный анализ требований России и США к огнестойкости строительных конструкций нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов

Борис Александрович Клементьев^{1✉}, Андрей Владимирович Калач²,
Марина Викторовна Гравит³

¹ Арктик СПГ 2, Новый Уренгой, Россия² Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний, Воронеж, Россия³ Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время для объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России в национальных стандартах и сводах правил даны детерминированные значения пределов огнестойкости строительных конструкций, при этом вероятностный подход к определению их огнестойкости в российских нормативных документах не предусмотрен. Методология вероятностного подхода к огнестойкости конструкций подробно реализована в нормативном документе API 2218 «Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants», разработанном Американским институтом нефти.

Методы. Проведен сравнительный анализ российских нормативных документов по пожарной безопасности и американского стандарта API 2218, в части установленных концепций огнезащитной обработки и требований к пределам огнестойкости строительных конструкций объектов нефтегазовой отрасли.

Результаты. Установлено, что в Российской Федерации отсутствуют нормативные документы, устанавливающие методы вероятностного подхода, в том числе к определению требуемых пределов огнестойкости и местам нанесения огнезащитных покрытий на объектах ТЭК по аналогии с американским стандартом API 2218.

Выводы. На основании проведенного анализа сделан вывод, что подходы к определению философии огнестойкости конструкций зданий и сооружений ТЭК в рассматриваемых документах принципиально различаются. С целью совершенствования нормативно-технической базы РФ в области пожарной безопасности в части огнестойкости предлагается рассмотреть использование требований зарубежных документов, учитывающих проверенные мировые инженерно-технические практики, в частности — применение вероятностного подхода с учетом пожаров углеводородов.

Ключевые слова: предел огнестойкости; огнезащита; вероятность возникновения пожара; оценка риска; зона ожидаемого пожара; требования пожарной безопасности; пассивная противопожарная защита; строительная конструкция

Для цитирования: Клементьев Б.А., Калач А.В., Гравит М.В. Сравнительный анализ требований России и США к огнестойкости строительных конструкций нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 5. С. 5–22. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22

✉ Клементьев Борис Александрович, e-mail: boris.klementev@arcticspg.ru

A comparative analysis of the requirements of Russia and the United States to the fire resistance of building structures of oil refineries and petrochemical plants

Boris A. Klementev^{1✉}, Andrey V. Kalach², Marina V. Gravit³

¹ Arctic LNG 2, Novy Urengoy, Russian Federation² Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russian Federation³ Civil Engineering Institute, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Currently, national standards and codes of practice contain deterministic values of the fire resistance of building structures of facilities of the Russian fuel and energy complex (FEC), while a probabilistic approach to determining their fire resistance is not specified in the Russian regulatory documents. The me-

thodology of the probabilistic approach to the fire resistance of structures is detailed in API 2218 "Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants", developed by the American Petroleum Institute.

Methods. A comparative analysis of the Russian regulatory documents on fire safety and API 2218 in terms of the established concepts of fireproofing and requirements for the fire resistance limits of building structures of oil and gas industry facilities, is carried out.

Results. It was established that the Russian Federation has no regulatory documents establishing methods based on the probabilistic approach, including determination of the required fire resistance limits and points of application of fire-resistant coatings at facilities of the fuel and energy complex by analogy with international standard API 2218.

Conclusion. Based on the analysis, it was concluded that approaches to the philosophy of the fire resistance of structures of buildings and structures of the fuel and energy complex in the documents under consideration are fundamentally different. In order to improve the Russian regulatory and technical framework, governing fire safety and fire resistance, it is proposed to consider the requirements of foreign documents that take into account proven international engineering and technical practices, in particular, the use of a probabilistic approach taking into account hydrocarbon fires.

Keywords: fire resistance limit; fireproofing; fire risk; risk assessment; fire-scenario envelope; fire safety regulations; passive fire protection; building structure

For citation: Klementev B.A., Kalach A.V., Gravit M.V. A comparative analysis of the requirements of Russia and the United States to the fire resistance of building structures of oil refineries and petrochemical plants. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(5):5-22. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22 (rus).

✉ Boris Aleksandrovich Klementev, e-mail: boris.klementev@arcticspg.ru

Введение

Топливо-энергетический комплекс является ключевой составляющей экономики Российской Федерации и одним из основных факторов обеспечения жизнедеятельности страны. Технологические процессы объектов обустройства нефтяных и газовых месторождений (добычи, сбора, транспорта и подготовки нефти и газа), а также технологические процессы, связанные с нефтегазопереработкой и нефтехимическим производством, сопровождаются высокой пожарной опасностью зданий и сооружений объектов ТЭК. Во-первых, пожарная опасность обусловлена обращением в технологических процессах легковоспламеняющихся, горючих жидкостей и горючих газов (ЛВЖ, ГЖ и ГГ), а также хранением на объектах защиты значительного количества указанных веществ, во-вторых, сложностью технологических процессов, обеспечивающих получение продукции в нефтегазовой отрасли. Несоблюдение элементарных мер правил безопасности может стать причиной возникновения пожаров и/или взрывов с последующим горением и эскаляцией аварий, что, как следствие, может привести к причинению вреда жизни и здоровью работников объектов и крупному материальному ущербу. Таким образом, при обеспечении пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса с учетом технико-экономических показателей необходимо определить концепцию и комплекс мер на этапе разработки основных технических решений и проектной документации, в том числе, что касается пассивных систем защиты (passive fire protection — PFP), — обеспечение огнестойкости строительных конструкций зданий и сооружений с помощью применения огнезащитных материалов.

В Российской Федерации требования к определению пределов огнестойкости реализованы на основании детерминированных значений, указанных в нормативных документах по пожарной безопасности¹⁻⁵ и других документах. При этом методика вероятностного подхода по определению требуемых пределов огнестойкости реализована в ГОСТ Р 12.3.047–2012⁶ на основании работ [1, 2].

¹ Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности (ред. от 01.07.2015) : (СП 231.1311500.2015) : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 17 июня 2015 г. № 302.

² Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности (ред. от 31.08.2015) : (СП 240.1311500.2015) : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 20 августа 2015 г. № 452.

³ Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности (ред. от 01.01.2018) : (СП 326.1311500.2017) : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 27 декабря 2017 г. № 597.

⁴ ВУПП-88. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (в ред. от 1 декабря 1988 г.) : утверждены приказом Миннефтехимпрома СССР от 17 августа 1979 г. № 726 и согласованы ГУПО МВД СССР письмом от 17 августа 1978 г. № 7/6-3191.

⁵ ГОСТ Р 12.3.047–2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1971-ст.

⁶ API 2218. Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants. 3rd ed. American Petroleum Institute, 2013.

Указанная методика может быть использована для подтверждения принимаемых пределов огнестойкости в случае отсутствия нормативных требований к объектам проектирования, а именно, при разработке специальных технических условий по пожарной безопасности. Эта методика не нашла широкого практического применения инженерами по пожарной безопасности при проектировании и разработке специальных технических условий (СТУ) по пожарной безопасности в связи с отсутствием крупномасштабных исследований и достаточности исходных данных для проведения расчетов. В некоторой степени методика вероятностного подхода по определению требуемых пределов огнестойкости, основанная на положениях⁷, была освещена в [3, 4].

В международной практике проектирования при обеспечении пожарной безопасности объектов широкое распространение при определении требуемых пределов огнестойкости получил подход, разработанный Американским институтом нефти, регулирующий аспекты вопросов в области нефтяной и газовой промышленности⁷. Вероятностный подход также изложен в руководстве⁸, изданном в развитии британского стандарта BS 7974 («Применение принципов пожарной безопасности при проектировании зданий. Свод практических правил»)⁹, принципы которого аналогичны ГОСТ Р 12.3.047–2012⁶, в связи с чем большого научно-практического интереса при проведении сравнительного анализа документ не представляет.

Целью настоящей статьи является проведение анализа основных положений нормативных документов по пожарной безопасности в части определения пределов огнестойкости в Российской Федерации и согласно требованиям, разработанным Американским институтом нефти. По результатам анализа предлагается рассмотреть часть апробированных международных требований по обеспечению огнестойкости строительных конструкций для включения в нормативные документы в области пожарной безопасности Российской Федерации.

Методология пассивной противопожарной защиты в Российской Федерации

В настоящее время концепция пассивной противопожарной защиты в российских нормативных документах по пожарной безопасности^{1–5} основывается на детерминированных значениях. Требования

к обеспечению пределов огнестойкости строительных конструкций сооружений нефтегазовых объектов (опорных конструкций аппаратов и емкостей, эстакад технологических трубопроводов, конструкций наружных установок, «юбок» колонных аппаратов и опор резервуаров), а также места и типы конструкций, подлежащие огнезащитной обработке, определены в сводах правил.

Согласно требованиям^{1, 3, 4}, колонны технологических трубопроводов с горючими и сжиженными горючими газами, легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, а также кабельные эстакады должны иметь пределы огнестойкости от R 45 до R 120 в зависимости от вида, обращаемого в технологическом процессе сырья и продукта и, соответственно, от используемых при проектировании нормативных документов. Следует отметить, что в СП 4.13130.2020¹ предел огнестойкости колонн эстакад технологических трубопроводов должен быть на высоту первого яруса, при этом в СП 240.1311500.2015³ и СП 326.1311500.2017⁴ предел огнестойкости должен определяться на всю высоту колонн технологических эстакад. На рис. 1 и 2 представлены примеры реализации требований сводов правил^{1–3} по доведению строительных конструкций (металлических колонн трубопроводных эстакад и металлических конструкций технологических этажерок) до требуемых пределов огнестойкости, в том числе в рамках проектной документации.

Необходимость соответствующих пределов огнестойкости регламентируется также для опорных конструкций технологических аппаратов и емкостей, содержащих легковоспламеняющиеся, горючие жидкости и сжиженные газы, конструкций (колонны, балки и ригели) наружных этажерок и «юбок» колонных аппаратов и опор резервуаров с легковоспламеняющимися жидкостями, хранящимися под давлением. Огнезащитной обработке подлежат как отдельно стоящее оборудование, так и аппараты, емкости и технологические колонны, входящие в комплекс технологических установок. Требуемые пределы огнестойкости указанных строительных конструкций регламентируются сводами правил^{1–4}, их значения по признаку несущей способности должны составлять от 45 до 120 мин. В СП 4.13130.2020¹ уточняется, что защиту конструкций наружных этажерок от воздействия высокой температуры следует предусматривать на высоту первого этажа (включая перекрытие первого этажа), но не менее 4 м от уровня земли.

Опорные конструкции резервуара для хранения СПГ должны иметь защиту от воздействия возможного пожара, обеспечивающую сохранение их функциональных свойств в течение времени полного выгорания расчетного объема, пролитого

⁷ API 2218. Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants. 3rd ed. American Petroleum Institute, 2013.

⁸ RD 7874-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment. London, BSI, 2003.

⁹ BS 7974:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice. Current 31 Mar. 2019.



Рис. 1. Реализация огнезащитной обработки металлических конструкций в соответствии с требованиями сводов правил
Fig. 1. Implementation of fire-retardant treatment of metal structures in accordance with the requirements of the codes of practice

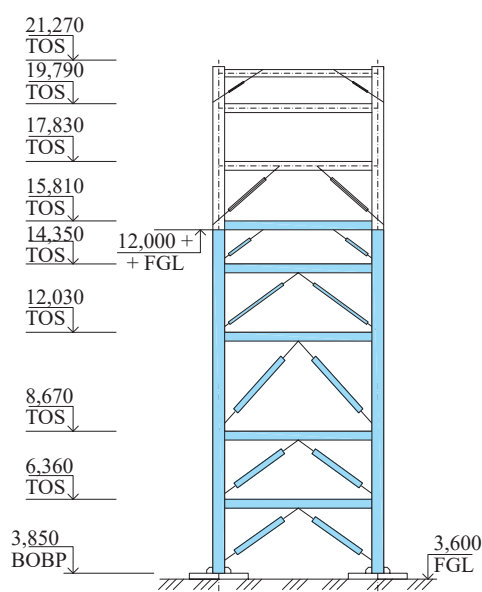


Рис. 2. Пример решения для проектной документации — огнезащитная обработка металлических конструкций в соответствии с требованиями сводов правил

Fig. 2. A case solution for the project documentation: the fire retardant treatment of metal structures in accordance with the requirements of the codes of practice

СПГ, но не менее предела огнестойкости R 120 согласно СП 240.1311500.2015³ и R 150 в соответствии с СП 326.1311500.2017⁴.

В ВУПП-88⁵ для зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности приведены требования по обеспечению огнестойкости конструкций, аналогичные указанным выше, с учетом специфики рассматриваемых объектов в данном документе по пожарной безопасности.

Несмотря на достаточно развитый в Российской Федерации ТЭК и имеющиеся научные работы по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса [3, 5, 6], работы по обеспечению огнестойкости и изучению поведения строительных конструкций в условиях углеводородного пожара в России начались сравнительно недавно [3, 4, 6, 7–13], при этом необходимо отметить, что в российских нормативных документах до сих пор отсутствуют требования о необходимости соответствия пределов огнестойкости углеводородным режимам пожара, таким как пожары проливов и факельные горения (jet fire). Кроме этого, отсутствуют утвержденные методики испытаний огнезащитных материалов в условиях воздействия высокой температуры и быстрого роста этой температуры, обусловленного спецификой производств.

Методология пассивной противопожарной защиты согласно API 2218

API 2218⁷ является комплексным документом по пассивной противопожарной защите нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, который не ограничивается определением требований к огнестойкости строительных конструкций, а также содержит и общие требования к огнезащите, руководство по выбору, применению и эксплуатации систем огнезащитных покрытий. Документ распространяется как на проектирование новых, так и на расширение существующих объектов ТЭК, расположенных на материковой части, и регламентирует требования для объектов, на которых возможны пожары проливов жидких углеводородов, и не рассматривает защиту конструкций от факельных пожаров и взрывов парогазовоздушных смесей.

Необходимо отметить, что в API 2218⁷ требования к огнестойкости изложены с учетом обязательного соответствия материалов показателям, полученным при проведении огневых натурных испытаний по углеводородной кривой согласно UL 1709¹⁰ или функционально эквивалентных режимов и условий. Также при определении потребностей в огнезащите учитывается специфика производства и вещества, обращающиеся в технологическом процессе, и их количество (данные положения отсутствуют в российских нормативных документах по пожарной безопасности).

Определение требований к PFP для нефтеперерабатывающего или нефтехимического предприятия, изложенных в положениях API 2218⁷, содержат оценку, основанную на опыте, или формальную оценку, основанную на анализе риска, включающую в себя разработку сценариев пожара, с учетом которых будет проводиться анализ потребностей в PFP. Один из методов выбора по определению необходимости в PFP приведен на рис. 3 и включает в себя следующие этапы:

- 1) оценка опасности, включая количественную оценку количества потенциального горючего;
- 2) разработка сценариев пожара, включая скорости потенциального выброса и определение размеров зон ожидаемого пожара;
- 3) определение необходимости в огнезащите, основанное на вероятности инцидента, с учетом опыта компании или отраслевого опыта, потенциального влияния ущерба для каждой зоны ожидаемого пожара и факторов технического, экономического, экологического, законодательного и человеческого рисков;
- 4) выбор уровня защиты (основанный на соответствующих стандартных методиках испытаний), который обеспечивался бы для указанного оборудования применением материала противопожарной обработки, основанного на анализе потребностей.

Первым этапом в определении необходимости и требований к пассивной противопожарной защите является идентификация потенциально опасного оборудования и его мест размещения. Количество, давление, температура вещества, состав потенциальных источников горючего (ЛВЖ, ГЖ и ГГ) — все эти факторы и параметры необходимо учитывать на первоначальном этапе в рамках процедуры анализа опасности. Процедура количественной и качественной оценки может выбираться владельцем объекта по своему усмотрению или проводиться в соответствии с требованиями, изложенными в таких документах, как OSHA 29 CFR 1910.119 «Управление

безопасностью при переработке высоко опасных химических веществ»¹¹, EPA 40 CFR 68 «Программы управления риском»¹², API RP 750 «Управление рисками при нефтепереработке»¹³ или Руководстве по процедурам оценки опасности CCPS [14].

Некоторые компании для упрощения определения уровня опасности используют подход по разделению оборудования на категории — вероятности возникновения пожара. Распределение оборудования по категориям вероятности возникновения пожара основано на статистических данных о частоте и/или тяжести последствий аналогичных аварий на объектах ТЭК со следующими группами технологического оборудования:

- высокая вероятность возникновения пожара — печи с огневыми подогревателями, насосы с производительностью выше 45 м³/ч для перекачки ЛВЖ и ГЖ при температуре выше их температуры вспышки или в пределах 8 °C от температуры вспышки, компрессоры, сосуды, теплообменники и другое оборудование, содержащее легковоспламеняющиеся или горючие жидкости при температуре свыше 315 °C или при температуре самовоспламенения этих жидкостей (в зависимости от того, какая из этих двух температур будет меньше), установки каталитического крекинга, установки для гидрокрекинга, этиленовые установки, гидроочистители или крупные установки перегонки сырой нефти. Также некоторыми стандартами международных нефтегазовых компаний к категории высокой вероятности возникновения пожара может относиться технологическое оборудование (аппараты), содержащее достаточное количество ЛВЖ, ГЖ и/или ГГ, критерии объемов которых приведены ниже в табл. 1. Огнезащитная обработка требуется для оснований и опорных конструкций под технологическое оборудование;
- средняя вероятность возникновения пожара — сосуды и емкости, имеющие вероятность утечки, колонные аппараты, теплообменники, с воздушным охлаждением с обращением ЛВЖ и ГЖ, сложное периферийное оборудование с высокой степенью автоматизации;
- низкая вероятность возникновения пожара — насосы, которые качают жидкости класса IIIВ при температуре ниже температуры вспышки, трубопроводы, находящиеся в составе оборудо-

¹¹ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 29 CFR 1910.119. Process safety management of highly hazardous chemicals.

¹² EPA 40 CFR Part 68. Chemical accident prevention provisions.

¹³ API RP 750, 1st Edition, January 1990. Management of Process Hazards.

¹⁰ UL 1709. Standard for safety of rapid rise fire tests of protection materials for structural steel.

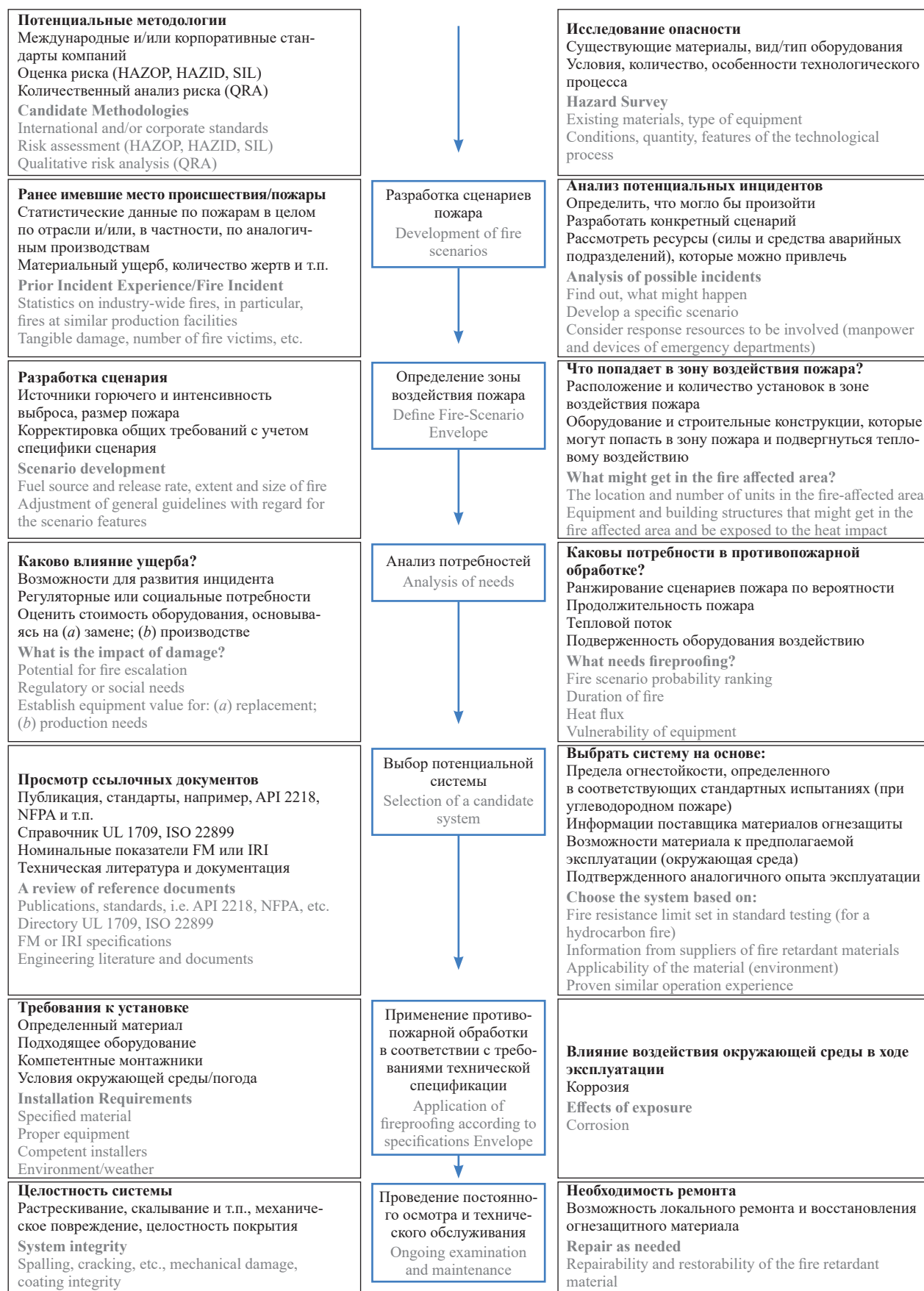


Рис. 3. Методология к определению пассивной противопожарной защиты

Fig. 3. Passive fire protection methodology

Таблица 1. Требования стандартов зарубежных компаний по объему углеводородов в технологических аппаратах для определения потребностей в огнезащите

Table 1. Requirements set by the standards of international companies in terms of the amount of hydrocarbons in the process equipment which is identified to find out fire protection needs

Нефтегазовая компания Oil & Gas Companies	Объем углеводородов Hydrocarbon amount
Shell	5 т / tons
Petronas	5 т / tons
Petroleo De Venezuela	5 т / tons
Total	5 м ³ / m ³
Chevron	3,8 м ³ / m ³

дования, имеющие концентрацию клапанов, фитингов и фланцев, теплообменники, которые могут приводить к утечкам из фланцев;

- нулевая вероятность возникновения пожара — оборудование, которое имеет низкую вероятность возникновения утечек ЛВЖ и ГЖ, и оборудование, в котором обращаются и/или транспортируются негорючие вещества и материалы, например, трубопроводы противопожарного водоснабжения. Вместе с тем отмечается, что, если трубопроводы противопожарного водоснабжения могут подвергаться воздействию пожара, то их также следует рассматривать при определении потребностей в защите от воздействия высоких температур.

Вторым шагом является разработка сценариев пожара, когда определяется возможная последовательность событий. Затем определяется, какие элементы и факторы будут влиять на процесс пожара, а именно:

- количество и скорость истечения ЛВЖ и ГЖ при проливе;
- давление и температура источника выброса;
- место расположения источника потенциально-го выброса ЛВЖ/ГЖ;
- возможные утечки и их размеры;
- будет ли розлив скапливаться в обваловании или будет поступать в дренажные системы;
- пропускная способность дренажных систем;
- физико-химические свойства веществ и материалов;
- другие факторы, которые могут влиять на процесс и время горения.

На основе сценариев пожара определяются возможные зоны воздействия пожара. Под зоной возможного воздействия пожара понимается трехмерное пространство, в пределах которого возможен пожар, в том числе пожар пролива ЛВЖ и ГЖ из оборудования с вероятностью возникновения по-

жара с достаточно длительным горением и интенсивностью для того, чтобы привести к существенному материальному ущербу.

Для пожаров углеводородов используются стандартные зоны возможного воздействия пожаров — от 6 до 12 м по горизонтали и вертикали от источника поступления ЛВЖ и/или ГЖ, а при пожарах проливов источником считаются площадки внутри периметра обвалования (отбортовки), в случае отсутствия обвалования зону воздействия пожара следует определять с учетом количества пролитой жидкости, топографии места пролива и других особенностей, влияющих на площадь разлива. Общие принципы определения зон воздействия пожара для оборудования некоторых групп и вероятности возникновения пожара представлены в виде алгоритма, который разработан авторами и приведен на рис. 4.

Обобщенные типичные зоны воздействия пожара, основанные на опыте проектирования нефтеперерабатывающих заводов, приведены в табл. 1 API 2218⁷ и более поздней работе [4], посвященной в том числе требованиям API 2218⁷. Указанные источники используются как общее руководство и описывают размеры зоны ожидаемого пожара, при этом в каждом проекте зоны воздействия пожара определяются индивидуально, исходя из специфики проектируемого объекта.

Аналогичный подход по определению зон воздействия пожара был успешно реализован в Российской Федерации в рамках разработки специальных технических условий на проектирование и строительство в части обеспечения пожарной безопасности на таких проектах, как «Ямал СПГ» — Завод СПГ Южно-Тамбейского месторождения, «Арктик СПГ 2» — Завод СПГ и СГК Салмановского (Утреннее) месторождения и среднетоннажном СПГ-проекте «Криогаз-Высоцк», расположенном в порту Высоцк Ленинградской области.

На рис. 5, 6 приведены выполненные примеры решений для проектной документации в соответствии с подходом API 2218⁷, т.е. доведение металлических конструкций до требуемых пределов огнестойкости предусмотрено в местах (в зоне воздействия пожара), определенных на основе вероятности возникновения пожара от технологического оборудования, при этом конструкции, подлежащие огнезащите, обрабатываются в 12-метровом радиусе в трехмерном пространстве, согласно алгоритму на рис. 4.

Пример с указанием зон воздействия пожара, определенных по результатам проведенной работы по выявлению необходимости в огнезащитной обработке, показан на рис. 7. Для технологического оборудования предусмотрены 6 и 12-метровые зоны

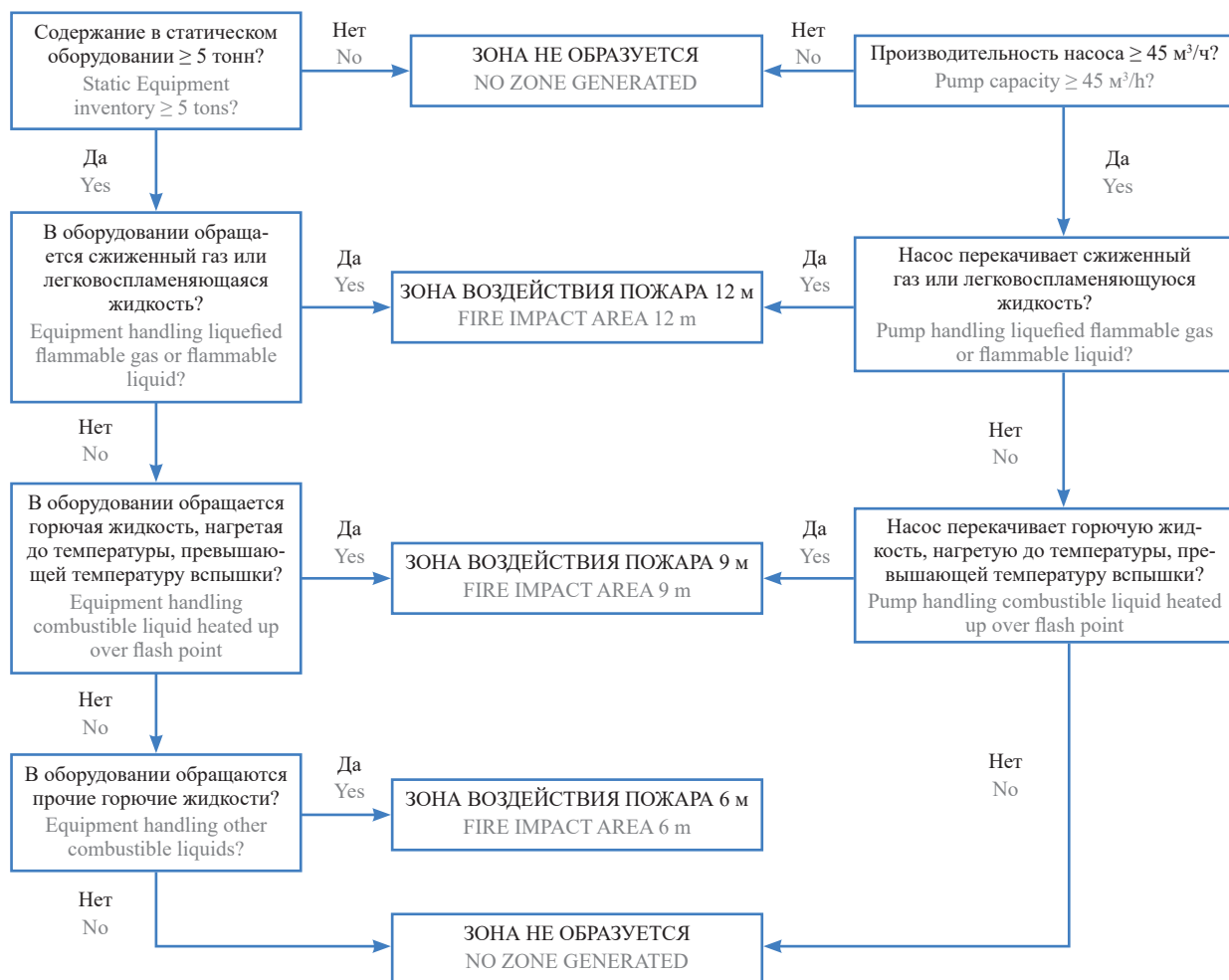


Рис. 4. Принципы определения зон воздействия пожара

Fig. 4. Principles of identification of fire impact areas

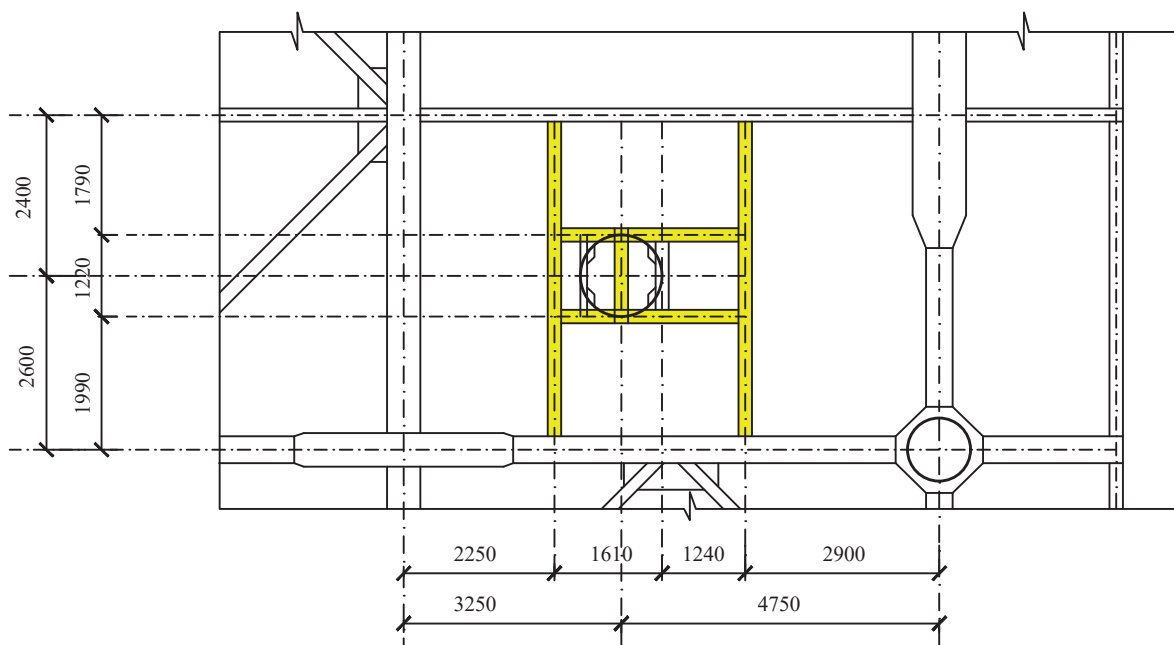
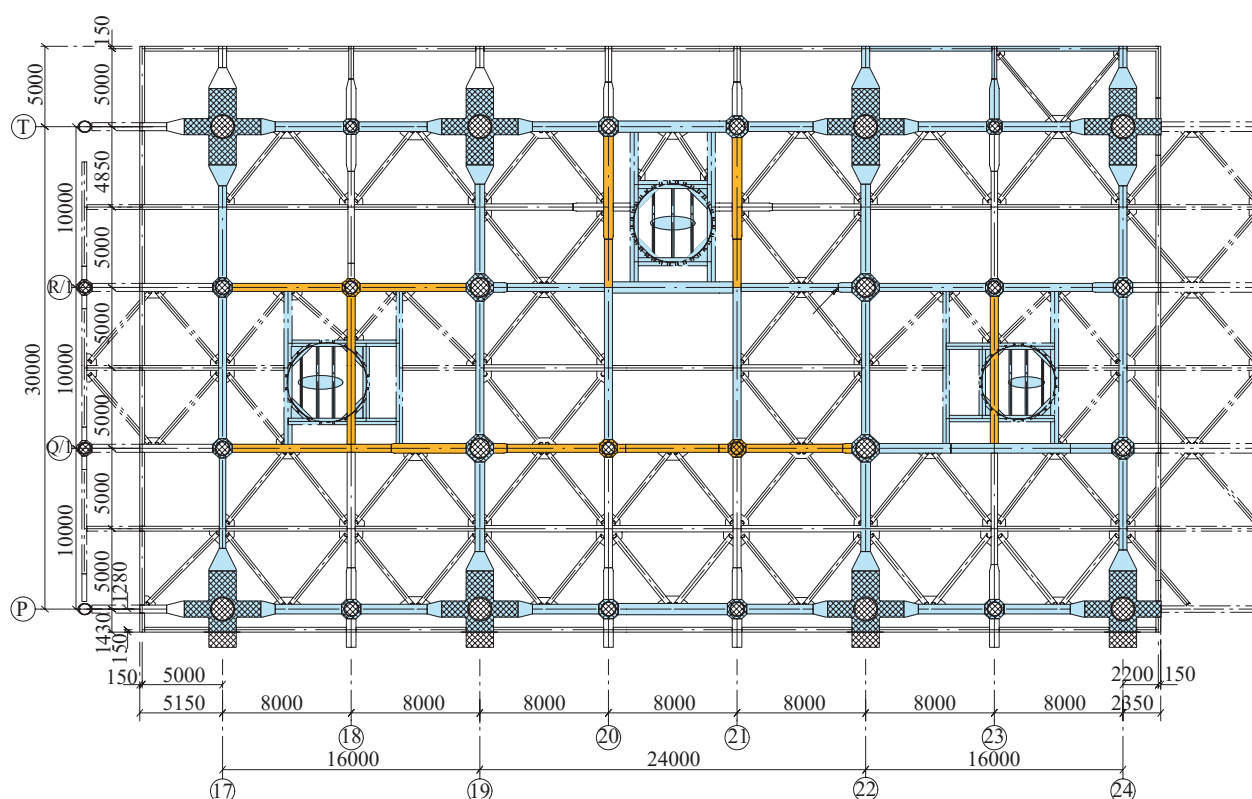


Рис. 5. Пример решения для конструкций, подлежащих огнезащите в зоне воздействия пожара

Fig. 5. A case solution for structures subject to fire protection in fire impact areas



	Степень защиты Protection level	Критическая температура, T Critical temperature, T	Температурный режим Temperature behaviour	Предел огнестойкости, мин Stability (minute)	Критическая температура, T Critical temperature, T	Криогенное воздействие Cryogenic exposure	Продолжительность, мин Duration, min
ОГЗ PFP Fire protection/ PFP(passive fire protection)	R 60	500 °C	HF	60	N/A	—	—
КрЗ CSP Cryogenic impact protection/CSP	C60/J20	500 °C	JF	20	-49 °C	CSP	60
КрЗ CSP Cryogenic impact protection/CSP	C60/J20/ R60	500 °C	HF/JF	60	-49 °C	CSP	60

Рис. 6. Конструкции, подлежащие огнезащите в зоне воздействия пожара (конструкции выделены оранжевым цветом) и защите от криогенного воздействия (конструкции выделены голубым цветом)

Fig. 6. Building structures subject to fire protection in the fire impact areas (structures are highlighted in orange) and protection from cryogenic impacts (structures are highlighted in blue)

воздействия пожара с учетом вида и объема легко-воспламеняющихся и горючих жидкостей.

Следующим этапом является анализ необходимости применения PFP, в рамках которого определяется уровень защиты (требуемые пределы огнестой-

кости) строительных конструкций и оборудования, если огнезащита вообще требуется. Анализ начинается с изучения факторов, касающихся размеров последствий и продолжительности воздействия пожара. Затем учитывают, какое оборудование мо-

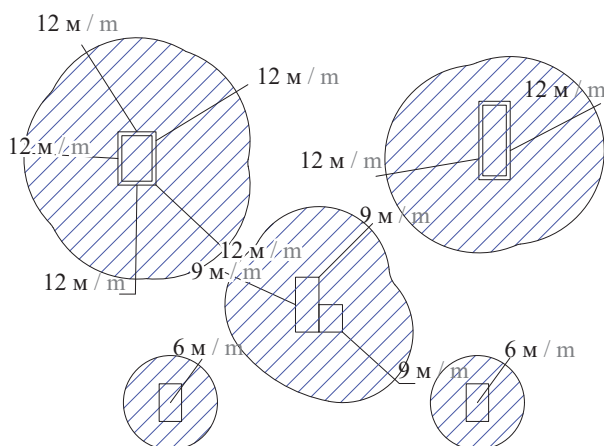


Рис. 7. Определенные зоны воздействия пожара

Fig. 7. Fire impact areas

жет подвергаться воздействию пожара и в какой степени, защищенность (уязвимость) оборудования от теплового воздействия, возможность влияния (вмешательства) факторов пожара на технологический процесс и последствия ожидаемого пожара. Последний шаг включает социальное воздействие, воздействие на окружающую среду и человека, а также стоимость оборудования. При анализе необходимости применения огнезащиты рассматривается вероятность событий, связанных с авариями, в том числе с пожарами.

Результат анализа должен включать в себя определение того, какое оборудование должно быть защищено от воздействия высоких температур, информацию о интенсивности воздействия пожара и продолжительности такого воздействия. Также при анализе необходимости в РПР учитываются системы активной противопожарной защиты (системы водяного орошения, пожаротушения) и их влияние на строительные конструкции.

Заключительный этап включает в себя определение пределов огнестойкости строительных конструкций в зависимости от типа пожара и интенсивности теплового воздействия в пределах зон воздействия пожара. Кроме этого, при определении пределов огнестойкости учитывается следующее:

- время, требуемое для того, чтобы перекрыть возможные утечки посредством системы противоаварийной защиты (запирная арматура и/или аварийные задвижки);
- наличие и требуемые расходы воды, подаваемой в течение нормативного времени;
- время, требуемое для организации достаточного и надежного охлаждения за счет стационарных систем охлаждения;

- время реагирования и состав сил и средств объектовых и/или других подразделений пожарной охраны;
- пропускная способность дренажной системы.

В положениях API 2218⁷ приводятся требования к системам покрытий, используемых для огнезащиты, к типам строительных конструкций и оборудования, подлежащих защите в зоне воздействия пожара, характеристикам и типам огнезащитных материалов, требования к испытаниям, контролю качества и наблюдениям при эксплуатации.

Обсуждение и результаты

Основные сравниваемые показатели по результатам проведенного анализа требований в части огнестойкости строительных конструкций и огнезащитных материалов, изложенных в российских и зарубежных нормативных документах, отражены в табл. 2.

Из сравниваемых параметров видно, что требования и подходы к пассивной противопожарной защите для объектов защиты нефтегазового комплекса, изложенные в российских документах по пожарной безопасности и в рассматриваемом в данной статье документе API 2218⁷, кардинально различаются. Зарубежные документы содержат более строгие требования при проведении сертификационных испытаний огнезащитных материалов, номенклатура испытаний содержит широкий спектр видов оценки на соответствие требованиям, которые позволяют значительно шире оценить качество материалов пассивной противопожарной защиты, в том числе с учетом их среды и возможных условий эксплуатации.

Особый интерес представляет методика, основанная на возможности определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций сооружений объектов ТЭК на рациональном сопоставлении вероятности возникновения, характере пожара (опасных факторов пожара), его последствий и ожидаемого материального ущерба. Работы по определению требуемых пределов огнестойкости могут быть проведены в рамках количественной оценки рисков (оценке пожарных рисков). Использование предлагаемой методики расчетов требуемых пределов огнестойкости согласно API 2218⁷ на протяжении всех стадий (разработка, проектирование, строительство, эксплуатация) жизненного цикла объектов позволит подойти с экономической эффективностью затрат на обеспечение противопожарной защиты и обеспечить требуемые пределы огнестойкости конструкций сооружений (этажеров, площадок под технологическое оборудование) на основании расчетов и с учетом вероятности возникновения пожара в местах, где это действительно необходимо, исходя из специфики технологического процесса.

Таблица 2. Основные показатели сравнения API 22187 и российских нормативных документов**Table 2.** Main indicators of comparison of API 2218 and Russian regulations

Показатель Criteria	Нормативный документ Regulatory document		
	API 2218	Российские нормативные документы по пожарной безопасности Russian fire safety norms	Примечание Notes
Утвержденная методика проведения испытаний в условиях углеводородного пожара Approved testing methodology for hydrocarbon fire conditions	+	+/-*	*В нормативных документах РФ по пожарной безопасности отсутствуют методики испытания огнезащитных материалов и строительных конструкций в условиях углеводородных режимов пожара. Существующий ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014¹⁴ добровольного применения содержит только требования к режимам пожара (в том числе к углеводородному) *In the RF regulatory documents on fire safety, there are no methods for testing fire-retardant materials and building structures in conditions of hydrocarbon fire modes. There is GOST R EN 1363-2-2014 of voluntary application, that only has requirements for fire modes, including a hydrocarbon fire
Требования о необходимости испытаний огнезащитных материалов в условиях углеводородного пожара — пожар пролива Requirements for the need to test fireproofing materials exposed to a hydrocarbon fire, a pool fire	+	+/-*	*В сводах правил отсутствуют обязательные требования о необходимости соответствия пределов огнестойкости строительных конструкций в условиях углеводородного пожара. В соответствии с требованием п. 5.2.1. СП 2.13130.2020: «Пределы огнестойкости строительных конструкций по альтернативным температурным режимам определяются в специально оговоренных случаях, установленных нормативными документами по пожарной безопасности», при этом требования к показателям огнестойкости конструкций и методики проведения испытаний не разработаны *Codes of practice do not contain mandatory requirements for the need to ensure compliance with the fire resistance limits of building structures exposed to a hydrocarbon fire. Pursuant to 5.2.1. SP 2.13130.2020 “The limits of fire resistance of building structures in terms of alternative temperature modes are determined in stipulated cases established by regulatory documents on fire safety”, while no requirements for the values of fire resistance of structures and test methods are available

¹⁴ ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 октября 2014 г. № 1275-ст.

Показатель Criteria	Нормативный документ Regulatory document		
	API 2218	Российские нормативные документы по пожарной безопасности Russian fire safety norms	Примечание Notes
Требования о необходимости испытаний огнезащитных материалов в условиях углеводородного пожара — струйный пожар Requirements for the need to test fireproofing materials exposed to a hydrocarbon fire, a jet fire	+	—	—
Требуемый тепловой поток при проведении огневых испытаний пассивной противопожарной защиты для пожаров проливов углеводородов — 205 кВт/м ² The appropriate heat flux during PFP fire tests for pool hydrocarbon fires — 205 kW/m ²	+	—	—
Требуемый тепловой поток при проведении огневых испытаний огнезащитных материалов для факельных пожаров углеводородов — 320 кВт/м ² The appropriate heat flux during fire PFP tests for jet hydrocarbon fires — 320 kW/m ²	+	—	—
Методика проведения испытаний огнезащитных материалов на устойчивость к криогенным воздействиям Methods of PFP testing for resistance to cryogenic effects	+	—	—

Показатель Criteria	Нормативный документ Regulatory document		
	API 2218	Российские нормативные документы по пожарной безопасности Russian fire safety norms	Примечание Notes
Требования о необходимости устойчивости материалов огнезащиты к взрывным нагрузкам Requirements for PFP exposed to explosive loads	+	+/-*	*Требования к взрывозащите огнезащитных материалов в сводах правил по пожарной безопасности отсутствуют. При этом требования к взрывозащите приведены в п. 4.20 СП 433.1325800.2019¹⁵: «Огнезащиту стальных несущих конструкций в зданиях категорий А и Б следует выполнять средствами огнезащиты, обладающими достаточной взрывоустойчивостью. Не допускается применять плитные, минераловатные и другие средства огнезащиты, которые могут разрушиться при возможном взрыве», но необходимо отметить, что данный свод правил является документом, регламентирующим работы, связанные с монтажом огнезащиты, а не проектированием. Также не указаны показатели взрывозащиты, не приведены методики испытаний и т.п. *There are no explosion safety requirements for fire-retardant materials in fire safety codes. At the same time, explosion safety requirements are provided Clause 4.20 of SP 433.1325800.2019 “The fire safety of load-bearing steel structures in category A and B buildings should be carried out using fire safety means that have sufficient explosion resistance. It is not allowed to use slabs, mineral wool and other means of fire protection, which can be destroyed in a potential explosion», but it should be noted that this set of rules applies to the work related to the installation of fire safety means, rather than their design. Also, explosion safety indicators are not specified, test methods are not provided, etc.
Методика испытаний материалов PFP на устойчивость при взрыве A methodology of PFP testing for explosion resistance	+	—	—
Требования о необходимости стойкости огнезащитных материалов к воздействию криогенных жидкостей Requirements for fire retardant materials to be resistant to effects of cryogenic liquids	+	—	—

¹⁵ Огнезащита стальных конструкций. Правила производства работ : (СП 433.1325800.2019) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 января 2019 г. № 38/пр и введен в действие с 25 июля 2019 г.

Показатель Criteria	Нормативный документ Regulatory document		
	API 2218	Российские нормативные документы по пожарной безопасности Russian fire safety norms	Примечание Notes
Вероятностный подход к определению требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций и определению конструкций, которые подлежат огнезащитной обработке Probabilistic approach to determining the required limits of fire resistance of building structures and determining structures that are subject to fire retardant treatment	+	+/-*	*В ГОСТ Р 12.3.047–2012⁶ приведена методика расчета требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций, согласно которой требуемые пределы огнестойкости устанавливаются на основе определения эквивалентной продолжительности пожаров и коэффициента огнестойкости. Широкое практическое применение затрудняется отсутствием необходимых исходных данных — параметров распределения предела огнестойкости и эквивалентной продолжительности пожара как случайных величин. Также в указанном ГОСТе не рассматриваются случаи воздействия на строительные конструкции факельного горения. Необходимость использования указанной методики не закреплена в сводах правил с указанием возможности обоснования требуемых (расчетных) пределов огнестойкости для строительных конструкций. Использование методики возможно при разработке СТУ по пожарной безопасности на объект защиты *GOST R 12.3.047-2012 provides a methodology for calculating the required fire resistance limits of a building structure, according to which the pre-set fire resistance limits are established on the basis of the equivalent duration of fires and the fire resistance coefficient. The wide practical application is hampered by the lack of the necessary initial data, including parameters of distribution of the fire resistance limit and the equivalent duration of the fire as random variables. Also, GOST does not consider cases of impact produced on building structures by jet fires. The need to use this methodology is not specified in the codes of practice specifying the possibility of justifying the required (calculated) fire resistance limits for building structures. The use of the methodology is possible only when developing fire safety regulations for a construction facility
Детерминированный подход к определению требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций и определению конструкций, которые подлежат огнезащитной обработке A deterministic approach to determining the required limits of fire resistance of building structures and structures that are subject to fire retardant treatment	—	+	—

Показатель Criteria	Нормативный документ Regulatory document		
	API 2218	Российские нормативные документы по пожарной безопасности Russian fire safety norms	Примечание Notes
Требуемые пределы огнестойкости конструкций R , мин Required limits of fire resistance of structures R , in min	0...120	45...120*	*Более высокие требования предъявляются разработчиками СТУ по пожарной безопасности с учетом положений API 2218 ⁷ *Tighter requirements are imposed by developers of fire safety regulations taking into account the provisions of API 2218
Требования к обеспечению огнестойкости опор оснований технологических аппаратов в зависимости от объема содержания ЛВЖ, ГЖ и ГГ Requirements for the fire resistance of supports of bases of technological devices, depending on the amount of flammable liquids, combustible liquids and combustible gases	+	—	*В зависимости от объема содержания ЛВЖ, ГЖ и ГГ в технологических аппаратах — регламентируются рядом требований, указанных в стандартах нефтяных компаний *Depending on the amount of flammable liquids, combustible liquids and combustible gases in technological devices, it is regulated by a number of requirements specified in Standards of oil companies
Возможные зоны воздействия (ожидаемого) пожара, в которых требуется пассивная противопожарная защита Potential (anticipated) fire impact areas that need passive fire protection	+	—	—
Обязательные климатические испытания (циклы заморозки-разморозки, солевой туман, тест на старение, погружение в морскую среду) перед огневыми сертификационными испытаниями Mandatory climate tests (freeze-thaw cycles, salt fog, aging test, immersion in the marine environment) before fire certification tests	+	—	—

Выводы

Рассмотрены современные принципы и требования к огнестойкости объектов нефтегазового комплекса, изложенные в американском нормативном документе API 2218⁷ и в российских нормативных документах по пожарной безопасности. Установлено, что подходы к определению требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций

(конструкций этажерок и эстакад) предприятий нефтегазового комплекса существенно отличаются. В российских документах принят детерминированный подход, при этом в зарубежных источниках приведен достаточно прогрессивный риск-ориентированный принцип обеспечения огнестойкости строительных конструкций, при котором задаются интервалы значений и определяются места защиты, основываясь на вероятностном подходе в зависимо-

сти от специфики, состава и наличия технологического оборудования.

Интегрирование в российские нормативные документы по пожарной безопасности основных требований, содержащихся в API 2218⁷, и требова-

ний зарубежных документов, таких как UL 1709¹⁰, ISO 22899-1¹⁶ и Norsok M-501¹⁷ в части необходимых испытаний огнезащитных материалов, позволит более гибко подойти к принципам огнестойкости (определению требуемых пределов огнестойкости и конструкций, которые подлежат огнезащите) и обеспечить эффективность применяемых огнезащитных материалов к условиям эксплуатации объекта защиты.

¹⁶ ISO 22899-1:2021. Determination of the resistance to jet fires of passive fire protection materials — Part 1: General requirements.

¹⁷ Norsok M-501. Surface preparation and protective coating (Edition 6, February 2012).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Присадков В.И.* Надежность строительных конструкций при пожаре // Огнестойкость строительных конструкций : сб. тр. М. : ВНИИПО, 1986. С. 70–73.
2. *Присадков В.И.* Разработка методов выбора рациональных систем противопожарной защиты промышленных зданий : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1990. 290 с.
3. *Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Гилетич А.Н.* Методы определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2018. Т. 22. № 11. С. 51–57. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57
4. *Шебеко А.Ю.* Оценка требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций этажей и эстакад предприятий нефтегазовой отрасли // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 103–107.
5. *Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю.* Условия пожарной безопасности при определении допустимых параметров функционирования производственных объектов // Пожарная безопасность. 2009. № 4. С. 61–66.
6. *Шебеко А.Ю., Шебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М.* Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для стальных конструкций технологической эстакады нефтеперерабатывающего предприятия // Пожарная безопасность. 2017. № 1. С. 25–29.
7. *Клементьев Б.А., Олейников С.Н.* Основные направления развития стандартизации: обеспечение пожарной безопасности объектов производства сжиженного природного газа // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году культуры безопасности. Иваново, 19 сентября 2018 г. Часть II. Иваново, 2018. С. 233–239. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42307945&pff=1>
8. *Хасанов И.Р., Гравит М.В., Косачев А.А., Пехотиков А.В., Павлов В.В.* Гармонизация европейских и российских нормативных документов, устанавливающих общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и применению температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2014. Т. 23. № 3. С. 49–57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21639720>
9. *Дринберг А.С., Гравит М.В., Зыбина О.А.* Огнезащита конструкций интумесцентными лакокрасочными материалами при углеводородном режиме пожара // Лакокрасочные материалы и их применение. 2018. № 1, 2. С. 44–49.
10. *Gravit M., Golub E., Klementev B., Dmitriev I.* Fire protective glass fiber reinforced concrete plates for steel structures under different types of fire exposure // Buildings. 2021. No. 11. P. 187. DOI: 10.3390/buildings11050187
11. *Gravit M., Gumerova E., Bardin A., Lukinov V.* Increase of fire resistance limits of building structures of oil-and-gas complex under hydrocarbon fire // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. Springer, 2018. Vol. 692. Pp. 818–829. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_87
12. *Gravit M., Zimin S., Lazarev Y., Dmitriev I., Golub E.* Fire simulation of bearing structures for natural gas module plant // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds). Springer, Cham., 2020. Vol. 1116. Pp. 365–376. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_36

13. Gravit M.V., Golub E.V., Antonov S.P. Fire protective dry plaster composition for structures in hydrocarbon fire // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 3. Pp. 86–94. DOI: 10.18720/MCE.79.9
14. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. 2nd. ed. AIChE/CCPS, 2000. 744 p.

REFERENCES

1. Prisadkov V.I. A realibility of building structures at a fire. *Fire resistances of building structures*. Moscow, VNIPO Publ., 1986; 70-73. (rus).
2. Prisadkov V.I. *A creation of methods for a choice of an optimal fire protection system for industrial buildings : dissertation of doctor of technical sciences*. Moscow, 1990; 290. (rus).
3. Shebeko Yu.N., Shebeko A.Yu., Giletich A.N. About the fire safety conditions to determine the admissible parameters of industrial premises functioning. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2009; 4:61-66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57 (rus).
4. Shebeko A.Yu., Shebeko Yu.N., Gordienko D.M. Estimation of required fire resistance limits of bearing structures of refinery platforms and pipe racks. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*. 2017; 1:25-29. (rus).
5. Shebeko Yu.N., Shebeko A.Yu., Giletich A.N. About the fire safety conditions to determine the admissible parameters of industrial premises functioning. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*. 2018; 22(11):51-57. (rus).
6. Shebeko A.Yu. A Settlement assessment of equivalent fire duration for steel structures of pipe rack of a refinery. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*. 2019; 1:103-107. (rus).
7. Klementev B.A., Oleynikov S.N. The basic directions of development of standardization: ensuring the fire safety of liquefied natural gas. *Modern fire-safe materials and technologies : Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Safety Culture. Ivanovo, September 19, 2018. Part II*. Ivanovo, 2018; 233-239. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42307945&pff=1>
8. Khasanov I.R., Gravit M.V., Kosachev A.A., Pekhotikov A.V., Pavlov V.V. Harmonization of European and Russian regulatory documents establishing general requirements for fire-resistance test methods of building constructions and the use of temperature curves that take into account real fire conditions. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 23(3):49-57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21639720>
9. Drinberg A.S., Gravit M.V., Zybina O.A. Fire protection with intumescent coatings under the hydrocarbon fire conditions. *Lakokrasochnie materialy i ikh primeneniye/Russian Coatings Journal*. 2018; 1-2:44-49.
10. Gravit M., Golub E., Klementev B., Dmitriev I. Fire protective glass fiber reinforced concrete plates for steel structures under different types of fire exposure. *Buildings*. 2021; 11:187. DOI: 10.3390/buildings11050187
11. Gravit M., Gumerova E., Bardin A., Lukinov V. Increase of fire resistance limits of building structures of oil-and-gas complex under hydrocarbon fire. *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017*. Springer, 2018; 692:818-829. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_87
12. Gravit M., Zimin S., Lazarev Y., Dmitriev I., Golub E. Fire simulation of bearing structures for natural gas module plant. *VIII International Scientific Siberian Transport Forum*. Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds). Springer, Cham., 2020; 1116: 365-376. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_36
13. Gravit M.V., Golub E.V., Antonov S.P. Fire protective dry plaster composition for structures in hydrocarbon fire. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 3:86-94. DOI: 10.18720/MCE.79.9
14. *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. 2nd. ed. AIChE/CCPS, 2000; 744.

Поступала 23.06.2021, после доработки 26.08.2021;

принята к публикации 02.09.2021

Received June 23, 2021; Received in revised form August 26, 2021;

Accepted September 2, 2021

Информация об авторах

КЛЕМЕНТЬЕВ Борис Александрович, эксперт управления экспертиз и согласований с надзорными органами, Арктик СПГ 2, Россия, 629309, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Новый Уренгой, мкр. Славянский, 9/117; Researcher ID: AAW-6294-2021; Scopus Author ID: 57223335836; ORCID: 0000-0003-3790-7098; e-mail: boris.klementev@arcticspg.ru

КАЛАЧ Андрей Владимирович, д-р хим. наук, профессор, Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний, Россия, 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, 1-а; ORCID: 0000-0002-8926-3151; e-mail: a_kalach@mail.ru

ГРАВИТ Марина Викторовна, канд. техн. наук, доцент, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; Author ID: 667288; Researcher ID: B-4397-2014; Scopus Author ID: 56826013600; ORCID: 0000-0003-1071-427X; e-mail: gravit_mv@spbstu.ru

Вклад авторов:

Клементьев Б.А. — концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Калач А.В. — научное руководство; доработка текста.

Гравит М.В. — компоновка результатов; корректировка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Boris A. KLEMENTEV, Expert of the Group of Technical Approvals and Expertise, Arctic LNG 2, Building Estate Slavyanskiy, 9/117, Novy Urengoy, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, 629309, Russian Federation; Researcher ID: AAW-6294-2021; Scopus Author ID: 57223335836; ORCID: 0000-0003-3790-7098; e-mail: boris.klementev@arcticspg.ru

Andrey V. KALACH, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Irkutskaya St., 1-a, Voronezh, 394072, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8926-3151; e-mail: a_kalach@mail.ru

Marina V. GRAVIT, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Associate Professor, Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politekhnikeskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; Author ID: 667288; Researcher ID: B-4397-2014; Scopus Author ID: 56826013600; ORCID: 0000-0003-1071-427X; e-mail: gravit_mv@spbstu.ru

Contribution of the authors:

Klementyev B.A. — research concept; development of methodology; writing the source text; final conclusions.

Kalach A.V. — scientific leadership; revision of the text.

Gravit M.V. — arrangement of results; correction of the text.

The authors declare no conflicts of interests.