

# Критерии взрывоустойчивости зданий и сооружений на опасных производственных объектах



**М.В. Лисанов,**  
д-р техн. наук,  
директор центра  
анализа риска



**И.С. Жуков,**  
науч. сотрудник,  
ilzhukov@safety.ru



**Р.В. Базалий,**  
зав. отделом

ЗАО НТЦ ПБ,  
Москва, Россия

АНО «Агентство исследований  
промышленных рисков», Москва, Россия

Проанализированы требования в области промышленной и механической безопасности, предъявляемые к устойчивости зданий и сооружений на опасных производственных объектах при аварийных взрывах. Предложен метод определения предельной частоты разрушения зданий и сооружений с учетом последствий этих событий и не превышения при этом допустимого (приемлемого) риска.

**Ключевые слова:** взрывоустойчивость, здания, сооружения, авария, взрыв, анализ риска, требования промышленной безопасности.

DOI: 10.24000/0409-2961-2019-5-40-46

## Введение

В числе наиболее актуальных проблем в области промышленной безопасности в настоящее время — взрывоустойчивость зданий и сооружений на опасных производственных объектах (ОПО).

Статистические данные о последствиях аварий подтверждают невозможность обеспечения гарантированной безаварийной эксплуатации ОПО. Доля аварий, связанных со взрывом, на ОПО нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности, по данным Ростехнадзора, за последние годы составляет около 50 % всех аварий [1].

Вопросы оценки взрывоустойчивости зданий и сооружений при аварийных взрывах на ОПО неоднократно обсуждались в ряде статей, в том числе для обоснования вероятностных критериев разрушения зданий [2–4]. В [5] обоснован двухэтапный подход к учету нагрузок на конструкции зданий и сооружений с помощью методов механической безопасности на основе расчетов показателей риска взрыва и параме-

тров падающей ударной волны. В [6] авторы касались правовых аспектов использования вероятностного подхода в обосновании взрывоустойчивости зданий и сооружений, а также отмечали разночтения в градостроительном законодательстве и его слабую связь с законодательством в области промышленной безопасности.

## Требования промышленной безопасности

В законодательстве о промышленной безопасности не могут быть установлены конструктивные требования к взрывоустойчивости зданий, поскольку это относится к области технического регулирования. Поэтому в требованиях промышленной безопасности представлены только положения по анализу риска взрыва и учету мер взрывобезопасности, в том числе касающиеся взрывозащиты наиболее важных объектов, зданий и сооружений. Так, в п. 10.4 [7] установлено, что для вновь проектируемых взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектов должны быть выполнены следующие требования:

обеспечена защита персонала, постоянно находящегося в помещении управления (операторные), от воздействия ударной волны (травмирования) при возможных аварийных взрывах на технологических объектах с учетом зон разрушения, а также от термического воздействия;

обеспечено бесперебойное функционирование автоматизированных систем контроля, управления, противоаварийной автоматической защиты для перевода технологических процессов в безопасное состояние и аварийного останова технологических объектов.

В приложении № 3 [7] установлено, что в целях обоснования безопасного размещения установок, зданий, сооружений на территории взрывопожароопасного производственного объекта следует проанализировать риск взрыва парогазовых сред, топливно-воздушных смесей (ТВС), образующихся при аварийном выбросе сжиженных углеводородных газов, горючих и легковоспламеняющихся жидкостей, газоконденсата и иных опасных (горючих, воспламеняющихся) веществ. Риск взрыва является мерой опасности, обуславливающей возможность и тяжесть последствий взрыва. Оценка риска взрыва — часть анализа риска аварии, применяемого в том числе для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений на ОПО.

Результаты расчетов зон поражения, разрушения (последствий взрыва) и показателей риска взрыва необходимо применять при выборе технических мероприятий по защите объектов и персонала от ударно-волнового воздействия облаков ТВС, а также твердых и жидких химически нестабильных соединений (перекисные соединения, ацетилениды, нитросоединения различных классов, продукты осмоления, треххлористый азот), способных взрываться без смешения с воздухом.

В п. 349 [8] установлено, что в число мероприятий по предупреждению аварий и локализации их последствий включаются организационные и инженерные решения по обеспечению противоаварийной устойчивости пунктов и систем управления производственными процессами, безопасности находящегося в них персонала и возможности управления процессами при авариях, а также безопасности всего производственного персонала.

В п. 11 [9] определено, что для площадочных сооружений ОПО магистральных трубопроводов необходимо выполнять требования к обеспечению взрывобезопасности согласно подпунктам 3.1–3.3, 10.4, 10.5 [7].

В п. 8 [10] отмечено, что общие рекомендации по обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений базируются на методах расчета показателей риска взрыва ТВС, включающих оценку частоты превышения амплитуды давления на фронте падающей ударной волны для каждого (при необходимости) здания, сооружения на территории ОПО.

Таким образом, четкого перечня зданий на ОПО, которые должны быть выполнены (сконструированы и построены) во взрывоустойчивом состоянии, нет. Но при оценке риска взрыва, в соответствии с методологией, изложенной в нормативах Ростехнадзора [2, 4, 10], можно выявить «невзрывоустойчивые» здания, проверив выполнение условия пп. 2.1, 2.2 [11]. Согласно этому условию, связанному с параметрами ветровых нагрузок в регионе, узлы и основания таких зданий следует рассчитывать только на основное сочетание нагрузок, т.е. без учета воздействия взрыва. Практика показывает, что это условие выполняется при давлении на фронте падающей волны 1–2 кПа, в зависимости от региона.

В этом плане зарубежный нормативный опыт более информативен. Так, например, в иностранных документах [12, 13] определено, что первичными целями обеспечения взрывоустойчивого проектирования здания являются:

безопасность персонала;

безаварийный перевод технологического процесса в безопасное состояние, включая предупреждение эскалации аварии с одного технологического объекта на другой;

защита объекта от последствий аварий (локализация и ликвидация аварий);

предупреждение и минимизация финансовых потерь собственника объекта.

Исходя из этого, примерный перечень групп объектов, подлежащих, в соответствии с иностранными нормативными документами, выполнению во взрывоустойчивом состоянии, следующий:

административные, производственные и другие здания различного назначения с постоянным пребыванием людей; наружные стены убежищ, включая входы в них и первые (наружные) защитно-герметические двери (ворота); аварийный вход (выход); стены, покрытие и пол аварийного (эвакуационного) выхода, запроектированного в виде наклонного спуска и тоннеля;

здания, обеспечивающие бесперебойное функционирование автоматизированных систем контроля, управления, противоаварийной автоматической защиты для перевода технологических процессов в безопасное состояние и аварийного останова технологических объектов (центральная операторная, местные аппаратные, контроллерные, насосные, компрессорные, факельные установки и другие здания, включающие узлы системы аварийного останова);

здания, содержащие узлы систем обнаружения пожара, утечек газа, пожаротушения, бесперебойного питания и других важных для локализации и ликвидации аварий объектов (насосные водяного пожаротушения, резервуары противопожарного запаса воды, противопожарный водопровод, включая систему подачи электроэнергии к пожарным насосам и другим устройствам, необходимым для функционирования указанных объектов);

здания, в которых установлено критически важное дорогостоящее оборудование или оборудование, уничтожение которого приведет к значительному перерыву в работе или финансовым потерям владельца (устанавливаются заказчиком).

#### Требования технического регулирования

Статьей 9 [14] определены требования безопасности при техногенных воздействиях, включая взрывы. Согласно им здание или сооружение на территории, где возможно проявление опасных природных процессов и явлений или техногенных воздействий, должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе его эксплуатации опасные природные процессы и явления или техногенные воздействия не вызывали обрушений зданий и сооружений и (или) иных событий, создающих угрозу причинения вреда жизни и здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

Согласно п. 5 ст. 15 [14] проектные значения параметров и другие проектные характеристики здания или сооружения, а также проектируемые мероприятия по обеспечению его безопасности должны быть

установлены таким образом, чтобы в процессе строительства и эксплуатации здание или сооружение было безопасным.

Таким образом, для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений необходимо не только предусматривать мероприятия, исключающие возникновение в них пожаров (пожарная безопасность), но и учитывать при их проектировании вероятность внешнего техногенного воздействия в виде аварийного взрыва.

В развитие [14] разработан [15], одной из целей которого, как отмечено в [6], является попытка увязать законодательство о градостроительной деятельности с законодательством в области промышленной безопасности.

В [15] введено требование: особые воздействия на сооружения ОПО, подлежащих регистрации в государственном реестре в соответствии с законодательством Российской Федерации о промышленной безопасности ОПО, устанавливаются федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности. Но распространяется ли оно и на здания ОПО (или только на сооружения) — неясно. По мнению авторов, руководствуясь положением п. 5.1 [15] и примечанием к п. 2.1.4 [16], данное требование следует распространять и на здания. В соответствии с [16] несущие и ограждающие конструкции зданий и сооружений должны быть запроектированы с учетом обоснованных аварийных расчетных ситуаций, которые устанавливаются заказчиком в задании на проектирование.

Совершенно неясно также: требование данного пункта носит исключительный характер, т.е. требования остальных пунктов данного свода правил неприменимы к особым воздействиям на сооружения ОПО, или же оно должно выполняться совместно с остальными требованиями свода правил.

Например, в п. 5.12 [15] сказано, что для сооружений класса КС-3 допускается разрабатывать конструктивные решения с учетом оценки риска, анализа последствий нормативных (проектных) и аварийных особых воздействий и затрат, связанных с проведением мероприятий (конструктивных и организационных) для ограничения площади повреждений. При этом в соответствии с [16] к зданиям и сооружениям класса КС-3 относятся здания и сооружения особо опасных и технически сложных объектов. К подобным зданиям и сооружениям, согласно п. 1 ст. 48.1 [17], относятся ОПО I и II классов опасности, на которых изготавливаются, используются, перерабатываются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества. Таким образом, в соответствии с градостроительным законодательством, требования по учету особых воздействий распространяются на все здания и сооружения на ОПО I и II классов опасности.

По мнению авторов, желательно, чтобы вышеуказанные и другие положения [15], касающиеся особых

воздействий на здания и сооружения на ОПО, получили статус обязательных требований, в результате применения которых должно гарантированно обеспечиваться соблюдение закона [14]. А также чтобы имеющиеся в настоящее время нестыковки в законодательстве, ведущие к разночтениям, были более четко прописаны в нормативных документах как Ростехнадзора, так и Минстроя России.

### Обоснование частотного критерия взрывоустойчивости зданий и сооружений

Согласно [10] взрывоустойчивость — это свойство зданий и сооружений сохранять с заданной вероятностью устойчивость к взрывам от аварий на ОПО.

Опыт показывает, что основной риск поражения людей, находящихся в зданиях, в том числе в операторных, связан с разрушением зданий под действием взрывной нагрузки, т.е. со взрывоустойчивостью зданий. Приведенная в [10] допустимая величина частоты разрушения зданий  $1 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> принята из условия выполнения критерия допустимого индивидуального риска гибели людей в зданиях [2, 4, 18].

В соответствии с [10] величина допустимой частоты воздействия взрыва на здание  $R_{\text{доп}}$  не должна превышать  $1 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Подобные требования содержатся и в ряде зарубежных документов, например, в документации надзорного органа Великобритании [19–21].

Если рассматривать взрывоустойчивость зданий и сооружений с точки зрения методологии барьеров безопасности, то их конструкции относятся к пассивным физическим барьерам по классификации проф. Скелета; к постоянным пассивным барьерам (изначально — безопасная конструкция) согласно ARAMIS; к техническим пассивным барьерам — в соответствии с HSE [22]. Согласно требованиям Норвежского органа по безопасности в нефтяной промышленности воздействия аварийных или природных нагрузок с вероятностью  $1 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> и более не должны приводить к потере барьером безопасности своей основной функции [22, 23]. Однако на практике предъявление ко всем зданиям и сооружениям на ОПО единых частотных критериев взрывоустойчивости часто приводит к необоснованному завышению требований и существенному удорожанию проекта. В первую очередь это касается зданий и сооружений, целостность которых не влияет на работоспособность и функционирование ОПО. Иными словами, если учитывать, что риск в общем случае есть функция (комбинация, произведение) частоты и тяжести последствий негативного события, то в случаях, когда тяжесть последствий события невелика, допустимо повышать максимальное значение частоты реализации этого события (в данном случае — разрушения здания или сооружения) при условии сохранения допустимого (приемлемого) риска  $R_{\text{доп}}$ .

Оценить предельные значения частоты разрушения  $R_{\text{доп}}$  и значимость конкретного здания или сооружения можно и при помощи матрицы «частоты

та — тяжесть последствий» в соответствии с [24]. В таком случае указанная классическая матрица риска может быть преобразована в матрицу взрывоустойчивости (см. таблицу).

Частота приходящей ударной волны — частотный критерий взрывоустойчивости, год <sup>-1</sup>	Тяжесть последствий разрушения зданий и сооружений			
	Пренебрежимо малое последствие	Некритическое последствие	Критическое последствие	Катастрофическое последствие
1·10 <sup>-2</sup>	В	А	А	А
1·10 <sup>-3</sup>	В	В	А	А
1·10 <sup>-4</sup>	С	В	В	А
1·10 <sup>-6</sup>	С	С	В	В

Критерии событий по тяжести последствий разрушения зданий и сооружений принимаются в соответствии с [24, 25]:

катастрофическое событие — полная потеря объекта, эскалация аварии, гибель двух и более человек, значительный экологический ущерб;

критическое событие — остановка отдельных блоков, установок, участков, составляющих ОПО, сроком более чем на 72 ч для проведения ремонтных работ на технологическом оборудовании или технологических сооружениях ОПО; групповой несчастный случай (НС) или НС со смертельным исходом; НС с тяжелыми последствиями; экологический ущерб;

некритическое событие — остановка отдельных блоков, установок, участков, составляющих ОПО, сроком не более чем на 24 ч для проведения ремонтных работ на технологическом оборудовании или технологических сооружениях ОПО; негрупповой НС, относящийся к категории легких; отсутствие экологического ущерба, незначительные экономические потери;

событие с пренебрежимо малыми последствиями — без остановки объекта или его составляющих, без травмированных и экологического ущерба, при незначительных экономических потерях.

Применимость частотного критерия взрывоустойчивости раскрыта и категорирована в [24]:

А — частотный критерий взрывоустойчивости неприменим;

В — частотный критерий взрывоустойчивости применим при условии строгого соответствия критериям индивидуального и социального рисков, а также эскалации аварии;

С — частотный критерий взрывоустойчивости применим.

Как видим, для категории В дополнительными условиями применимости являются соответствие критериям индивидуального и социального рисков и эскалации аварии.

Подтверждением такого подхода являются рекомендации Total, где предельные частоты разрушения

зданий, сооружений или отказа иных мер защиты  $R_{\text{доп}}$  варьировались в пределах от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup> в зависимости от значимости объектов и последствий их разрушения.

Также необходимо отметить, что в Российской Федерации утвержден и введен в действие [26], в котором допускается установление частоты воздействия взрыва с учетом необходимости упругого или пластичного отклика на давление взрывной волны (наличие или отсутствие пластичных деформаций конструкций). В соответствии с п. 1.8 приложения А [26] данное обстоятельство учтено посредством указания двух различных уровней взрыва:

взрыв, нарушающий прочность, возможен с вероятностью  $1 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>;

взрыв, приводящий к пластическим повреждениям, возможен с вероятностью  $1 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

### Заключение

Анализ требований законодательства и нормативно-технической документации в области механической и промышленной безопасности [7, 10, 14–17] показал, что требования по учету особых воздействий, в том числе взрывных нагрузок, распространяются на все здания и сооружения на ОПО I и II классов опасности, а не только на помещения управления (операторные), как установлено в п. 10.4 [7].

Учитывая опыт обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений, а также требования российских и зарубежных нормативных документов [6, 7, 10, 19–21, 23, 26] в целях снижения избыточных затрат, не влияющих на безопасность, предлагается более гибко подходить к установлению предельной частоты разрушения здания при взрывных нагрузках. Для решения вышеуказанных задач предложена методология оценки предельной частоты разрушения зданий и сооружений с учетом значимости последствий разрушений и выполнения критериев допустимого (приемлемого) риска.

Целесообразна разработка методики оценки воздействия взрывных нагрузок, учитывающей упругий или пластичный отклик на давление взрывной волны (наличие или отсутствие пластичных деформаций конструкций), вместо методики, предлагаемой в [11].

### Список литературы

1. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016 году. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 397 с.
2. Жулина С.А., Лисанов М.В., Козельский В.В. Изменения в Общих правилах взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств// Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 10. — С. 48–54.
3. Методическое обеспечение и проблемы анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса/ М.В. Лисанов, А.С. Печёркин, С.И. Сумской, А.А. Швыряев// Вести газовой науки: Повышение

надежности и безопасности объектов газовой промышленности. — 2017. — № 1 (29). — С. 179–186.

4. *Количественный анализ риска при обосновании взрывоустойчивости зданий и сооружений*/ Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.А. Швыряев// *Безопасность труда в промышленности*. — 2013. — № 6. — С. 82–89.

5. *Опыт разработки обоснования безопасности опасных производственных объектов взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств*/ Л.В. Бланк, И.С. Жуков, М.В. Лисанов, Е.В. Ханнин// *Безопасность труда в промышленности*. — 2018. — № 2. — С. 72–79. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-2-72-79

6. *Базалий Р.В., Невская Е.Е., Чуркин Г.Ю.* Проблемы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений на опасных производственных объектах// *Безопасность труда в промышленности*. — 2018. — № 4. — С. 25–30. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-4-25-30

7. *Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств*: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 09. — Вып. 37. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 130 с.

8. *Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности*: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 08. — Вып. 19. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 314 с.

9. *Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов*: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 08. — Вып. 20. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 40 с.

10. *Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах*: рук. по безопасности. — Сер. 27. — Вып. 17. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 56 с.

11. *Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200069775> (дата обращения: 19.03.2019).

12. *Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities*. Petrochemical Committee, Task Committee on Blast Resistant Design of the Energy Division of American Society of Civil Engineers. — New York: ASCE, 2010. — 318 p.

13. *Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Permanent Buildings*. API Recommended Practice 752. — Washington: American Petroleum Institute, 2009. — 40 p.

14. *Технический регламент о безопасности зданий и сооружений* (с изм. на 2 июля 2013 г.): федер. закон от 30 дек. 2009 г. № 384-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 19.03.2019).

15. *СП 296.1325800.2017*. Свод правил. Здания и сооружения. Особые воздействия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/555600219> (дата обращения: 19.03.2019).

16. *ГОСТ 27751—2014*. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115736> (дата обращения: 20.03.2019).

17. *Градостроительный кодекс Российской Федерации* (редакция, действующая с 1 янв. 2019 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 28.03.2019).

18. *Технический регламент о требованиях пожарной безопасности* (редакция, действующая с 31 июля 2018 г.): федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 21.03.2019).

19. *Offshore Installations (Safety Case) Regulations 2005*. — London: Health and Safety Executive, 2005. — 93 p.

20. *Fire and explosion guidance. Part 1: Avoidance and mitigation of explosions*. — London: UK Offshore Operators Association Limited, 2003. — Iss. 1. — 48 p.

21. *Structural strengthening of offshore topsides structures as part of explosion risk reduction methods*. — London: Health and Safety Executive, 2006. — 147 p.

22. *Жуков И.С.* Барьеры безопасности: понятие, классификация, концепции// *Безопасность труда в промышленности*. — 2017. — № 5. — С. 49–56. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-49-56

23. *Regulations relating to design and outfitting of facilities, etc. In the petroleum activities (the facilities regulations)*. URL: <http://www.ptil.no/facilities/category400.html#> (дата обращения: 22.04.2019).

24. *Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах*: рук. по безопасности. — Сер. 27. — Вып. 16. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 56 с.

25. *Методические рекомендации по классификации техногенных событий в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса*: рук. по безопасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556353126> (дата обращения: 21.04.2019).

26. *ГОСТ Р 57555—2017* (ИСО 19901-3:2014). Национальный стандарт Российской Федерации. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Верхние строения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146329> (дата обращения: 21.04.2019).

**ilzhukov@safety.ru**

*Материал поступил в редакцию 24 апреля 2019 г.*

**«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2019, № 5, pp. 40–46.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2019-5-40-46**

**Criteria for Buildings and Structures Blast Resistance at Hazardous Production Facilities**

**M.V. Lisanov**, Dr. Sci. (Eng.), the Director of Risk Analysis Center

**STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia**

**I.S. Zhukov**, Research Associate, [ilzhukov@safety.ru](mailto:ilzhukov@safety.ru)

**R.V. Bazaliy**, Department Head

**ANO «Industrial Risk Research Agency», Moscow, Russia**

**Abstract**

At present among the most topical problems in the field of industrial safety is blast resistance of buildings and structures at hazardous production facilities.

Statistical data on accidents consequences confirm the impossibility of ensuring guaranteed trouble-free operation of hazardous production facilities. Based on Rostekhnadzor data the share of

accidents, related to explosions at hazardous production facilities, in the petrochemical and oil and gas processing industries is about 50 % of all the accidents over recent years.

To ensure safety during operation of buildings and structures it is required not only to provide for activities that eliminate the occurrence of fires in them (fire safety), but also to take into account in their design the possible negative external technogenic effect in the form of an emergency explosion. Thus, it is required to develop precise unified list of buildings and structures that must be completed (designed and constructed) as a blast resistant primarily at hazardous production facilities of the I and II classes of hazard.

Based on the analysis of the native and foreign experience, the more flexible approach is proposed for establishing maximum frequency of building destruction under the blast loads. Frequency of blast effect on buildings and structures should vary from  $1 \cdot 10^{-4}$  to  $1 \cdot 10^{-2}$  year<sup>-1</sup> depending on their significance and the consequences of their destruction (or deformations).

**Key words:** blast resistance, buildings, structures, accident, blast, risk analysis, industrial safety requirements.

### References

1. Annual report on the activity of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service in 2016. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 397 p. (In Russ.).
2. Zhulina S.A., Lisanov M.V., Kozelskiy V.V. Changes in the General Rules of Explosion Safety for Explosion and Fire Hazardous Chemical, Petrochemical and Oil Refining Plants. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2016. № 10. pp. 48–54. (In Russ.).
3. Lisanov M.V., Pecherkin A.S., Sumskey S.I., Shvyryayev A.A. Methodological support and problems of accident risk analysis at hazardous production facilities of oil and gas complex. *Vesti gazovoy nauki: Povyshenie nadezhnosti i bezopasnosti obektov gazovoy promyshlennosti = News of gas science: Improvement of the reliability and safety of gas industry objects*. 2017. № 1 (29). pp. 179–186. (In Russ.).
4. Degtyarev D.V., Lisanov M.V., Sumskey S.I., Shvyryayev A.A. Quantitative Risk Assessment in the Process of Substantiation of Buildings and Structures Explosion-Resistance. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2013. № 6. pp. 82–89. (In Russ.).
5. Blank L.V., Zhukov I.S., Lisanov M.V., Khanin E.V. Experience in the Development of Safety Case of Hazardous Production Facilities for Explosion and Fire Hazardous Chemical, Petrochemical, Oil and Gas Processing Plants. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 2. pp. 72–79. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-2-72-79
6. Bazaliy R.V., Nevskaya E.E., Churkin G.Yu. Problems of Substantiation of Buildings and Structures Blast Resistance at Hazardous Production Facilities. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 4. pp. 25–30. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-4-25-30
7. General rules of explosion safety for explosion and fire hazardous chemical, petrochemical and oil refining industries: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 09. Iss. 37. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 130 p. (In Russ.).
8. Safety rules in oil and gas industry. Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 08. Iss. 19. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 314 p. (In Russ.).
9. Safety rules for hazardous production facilities of the trunk pipelines: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 08. Iss. 20. Moscow: ZAO NTTs PB, 2018. 40 p. (In Russ.).
10. Methods for substantiation of buildings and structures blast resistance during explosions of fuel-air mixtures at hazardous production facilities: Safety guide. Ser. 27. Iss. 17. Moscow: ZAO NTTs PB, 2016. 56 p. (In Russ.).
11. Manual for inspection and design of buildings and structures exposed to blast loads effect. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200069775> (accessed: March 19, 2019). (In Russ.).
12. Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities. Petrochemical Committee, Task Committee on Blast Resistant Design of the Energy Division of American Society of Civil Engineers. New York: ASCE, 2010. 318 p.
13. Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Permanent Buildings. API Recommended Practice 752. Washington: American Petroleum Institute, 2009. 40 p.
14. Technical regulations on safety of buildings and structures (as amended on July 2, 2013): Federal law of December 30, 2009 № 384-FZ. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (accessed: March 19, 2019). (In Russ.).
15. SP 296.1325800.2017. Set of rules. Buildings and structures. Specific effects. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/555600219> (accessed: March 19, 2019). (In Russ.).
16. GOST 27751–2014. Reliability of structural steel foundations. Main provisions. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200115736> (accessed: March 20, 2019). (In Russ.).
17. Town Planning Code of the Russian Federation (version effective as on January 1, 2019). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (accessed: March 28, 2019). (In Russ.).
18. Technical regulations on fire safety requirements (version effective as on July 31, 2018): Federal law of July 22, 2008 № 123-FZ. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (accessed: March 21, 2019). (In Russ.).
19. Offshore Installations (Safety Case) Regulations 2005. London: Health and Safety Executive, 2005. 93 p.
20. Fire and explosion guidance. Part 1: Avoidance and mitigation of explosions. London: UK Offshore Operators Association Limited, 2003. Iss. 1. 48 p.
21. Structural strengthening of offshore topsides structures as part of explosion risk reduction methods. London: Health and Safety Executive, 2006. 147 p.
22. Zhukov I.S. Safety Barriers: Notion, Classification, Concepts *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 5. pp. 49–56. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-49-56
23. Regulations relating to design and outfitting of facilities, etc. In the petroleum activities (the facilities regulations). Available at: <http://www.ptil.no/facilities/category400.html#> (accessed: April 22, 2019).
24. Methodological fundamentals for conducting hazard analysis and accident risk assessment at hazardous production facilities: Safety guide. Ser. 27. Iss. 16. Moscow: ZAO NTTs PB, 2018. 56 p. (In Russ.).

25. Methodical recommendations on the classification of technogenic events in the field of industrial safety at hazardous production facilities of oil and gas complex: Safety guide. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/556353126> (accessed: April 21, 2019). (In Russ.).

26. GOST R 57555—2017 (ISO 19901-3: 2014). National standard of the Russian Federation. Oil and gas industry. Offshore oil and gas structures. Topsides. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200146329> (accessed: April 21, 2019). (In Russ.).

Received April 24, 2019

### Пожаровзрывобезопасность (научно-технический журнал)

**Водяное охлаждение резервуаров с изотермическим хранением криогенных топлив — эффективное средство их противопожарной защиты/ А.П. Чугуев, А.Ю. Лагозин, И.А. Болодыян и др. — 2018. — № 4.**

По результатам исследований, полученных с использованием специально созданной экспериментальной установки, укомплектованной моделью сферического резервуара в масштабе 1:10, подвергающегося воздействию пламени жидкого водорода, определена оптимальная интенсивность водяного орошения изотермического резервуара, обеспечивающая его противопожарную защиту. Показано, что тепловая защита изотермического резервуара с использованием струйного орошения водой с интенсивностью 0,14 л/(м<sup>2</sup>·с) и более обеспечивает надежную защиту резервуара от воздействия пламени водорода. Предложены аналитические зависимости для расчета параметров водяного орошения, обеспечивающих тепловую защиту изотермических резервуаров криогенных топлив от возможных пожаров сжиженных газов, в том числе водорода, метана или природного газа. Полученные данные по параметрам интенсивности водяного орошения резервуаров с жидким водородом нашли отражение в сводах правил, в которых представлены требования пожарной безопасности при использовании сжиженных водорода, метана и СПГ.

**Кицак А.И. Разработка динамической модели тушения пожара по площади модулями порошкового пожаротушения. — 2019. — № 1.**

Рассмотрены основные динамические закономерности процесса тушения очага пожара по площади модулями порошкового пожаротушения (МПП) с заданными пневмозагрузочными параметрами и известными дисперсными характеристиками огнетушащего порошка. Проведены экспериментальные исследования динамики фронта газопорошковой смеси, выбрасываемой из МПП в очаг пожара. Анализ полученных результатов свидетельствует об удовлетворительном согласии определенных в процессе эксперимента значений скоростей фронтов с их численными оценками. Разработана методика определения энергетических параметров очага пожара, который можно потушить модульной

установкой порошкового пожаротушения (МУПП) с заданными техническими характеристиками. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании МУПП для определения пневмозагрузочных параметров модулей по известным техническим характеристикам применяемого огнетушащего вещества, предполагаемым значениям мощности тепловыделения очага пожара и высоты расположения МПП.

**Повышение достоверности оценки безопасности людей при пожаре в зданиях общественного назначения/ А.В. Красавин, В.Л. Карпов, А.А. Абашкин и др. — 2019. — № 1.**

Рассмотрены особенности эвакуации людей в зданиях с эскалаторами и траволаторами. Проведен анализ действующих нормативных документов по пожарной безопасности в части использования эскалаторов и траволаторов как путей эвакуации. Рассмотрены вопросы возможного учета эскалаторов и траволаторов при проведении расчетов по определению расчетной величины пожарного риска. Описаны особенности выбора людьми направления (маршрута) движения при эвакуации. Проведена оценка поведения людей при пожаре, а также ложных срабатываний систем противопожарной защиты. Рассмотрены особенности объемно-планировочных решений торговых центров в части устройства эвакуационных лестничных клеток, а также основных потоков движения посетителей при вертикальном перемещении по зданию. Даны ссылки на международные стандарты, в которых описана возможность использования лифтов, эскалаторов и траволаторов. Приведены технические характеристики траволаторов и эскалаторов, используемые в современном строительстве. Представлен сравнительный анализ параметров эскалаторов и траволаторов по отношению к путям эвакуации по пандусу и лестницам. Сформулированы предложения по совершенствованию Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382 (с изменениями, внесенными приказами МЧС России № 749 от 12.12.2011 и № 632 от 02.12.2015) для общественных зданий, учитывающие наличие эскалаторов и траволаторов в качестве аварийного пути (выхода).