

Избыточное давление 5 кПа при категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

© А.С. Харламенков✉

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена историческая хронология развития категорирования помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Проведен анализ нормативной литературы и научных публикаций по данному направлению. Даны разъяснения о выборе величины избыточного давления взрыва в качестве критерия отнесения помещений и производств к взрывопожароопасным. Представлена обобщенная информация о типах повреждений промышленных зданий и травмировании людей в результате действия избыточного давления взрыва при аварийных ситуациях. Показаны иные опасные факторы пожара и взрыва, способные привести к гибели человека.

Ключевые слова: взрыв; авария; производственный риск; индивидуальный пожарный риск; технологические операции; охрана труда

Для цитирования: Харламенков А.С. Избыточное давление 5 кПа при категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 3. С. 111–118.

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

Overpressure of 5 kPa to be considered for classifying premises by fire and explosion hazards

© Aleksandr S. Kharlamenkov✉

State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The historical records regarding classification of premises by explosion and fire hazards have been reviewed. The analysis of regulatory documents and scientific publications on this subject has been carried out. The clarification on selecting the explosion overpressure value as a criterion for classifying premises and production facilities as explosive and fire hazardous ones is provided. The synthesized information on types of industrial building damages and injuries to people due to explosion overpressure in emergencies is presented. Other fire and explosion hazards that can result in human death are described.

Keywords: explosion; emergency; operational risk; individual fire risk; process operations; labor safety

For citation: Kharlamenkov A.S. Overpressure of five kPa to be considered for classifying premises by fire and explosion hazards. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(3):111-118.

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru



ВОПРОС:

Большинству проектировщиков и специалистов в области обеспечения пожарной безопасности известно, что производственные и складские помещения (здания) делятся на категории А, Б, В1–В4, Г, Д. Такая классификация необходима для установления нормативных требований пожарной безопасности к объектам защиты, направленных на предотвращение возможности развития пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае его возникновения. Реализация этих норм осуществляется путем выбора вариантов планировки

и застройки, этажности, площадей, размещения помещений внутри здания, конструктивных решений и инженерного оборудования.

Особого внимания заслуживают помещения, относящиеся к категориям А и Б, где помимо риска возникновения пожара присутствует высокая вероятность взрыва. Поэтому и персонал, и конструктивные элементы таких зданий могут быть подвержены значительной опасности.

Важным критерием отнесения помещения к категории А или Б является расчетное избыточное давление взрыва ΔP , превышающее 5 кПа, достижение которого возможно при аварии

с максимальным значением величины G , равной произведению годовой частоты реализации этого варианта Q_w и расчетного ΔP .

На основании значения ΔP проектировщик определяет категорию помещения (А или Б), а также последующие объемно-планировочные, конструктивные решения и производит выбор технических средств, позволяющих ограничить распространение пожара за пределы очага и обеспечить эвакуацию людей в безопасную зону.

Если же расчетное значение давления окажется меньше указанной выше величины, то помещение автоматически будет оцениваться с позиции угрозы возникновения пожара в зависимости от удельной пожарной нагрузки. В таком случае выбор будет происходить между категориями В1–В4, а это, в свою очередь, повлияет на все последующие проектно-изыскательские работы и стоимость строительства. В таких зданиях не исключена возможность возникновения взрыва в случае аварийной ситуации, но с меньшим избыточным давлением.

Из этого следует резонный вопрос: почему именно 5 кПа выбрано в качестве граничного значения, разделяющего категории взрывопожароопасных и пожароопасных помещений?

ОТВЕТ:

Для ответа на данный вопрос потребуется выполнить анализ исторического развития самой классификации помещений по взрывопожароопасности и определить зоны влияния такого параметра, как избыточное давление взрыва.

Первый вариант категорирования помещений, а точнее производств, дошедший до нашего времени, был представлен в книге инженера П.Н. Иванова «Временные иллюстрированные строительно-противопожарные нормы для промышленных и складских сооружений» [1], изданной в 1936–1938 гг. в двух редакциях. Далее, с 1939 до 2009 г., основная классификация помещений претерпевала определенные изменения с учетом активно развивающейся промышленности. Наибольшие преобразования происходили именно с определением категорий А и Б, которые для удобства сведены в табл. 1. Из данных табл. 1 видно, что категорирование промышленных помещений (производств) за 80-летний период (1939–2019 гг.) претерпело три значительных изменения. К 1951 г. изменились пределы температуры вспышки $t_{всп}$ веществ, являющейся одним из основных критериев отнесения производств к взрывопожароопасным. С 1972 г. введены дополнительные критерии — «5 % объема помещения» и «время образования взрывоопасной смеси менее 1 ч», которые сохранились в методике оценки классов взрывоопасных зон в соответствии с Правилами устройства электроустановок

(ПУЭ)¹ и определении зоны класса О по Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ². И начиная с 1986 г. вышеприведенные критерии были заменены на новый критерий — «расчетное избыточное давление взрыва в помещении — 5 кПа», который вошел в СП 423.1325800.2018 «Электроустановки низковольтные зданий и сооружений. Правила проектирования во взрывоопасных зонах»³ (аналог гл. 7.3 ПУЭ⁴). Поэтому величина ΔP оказывает непосредственное влияние на оценку размеров взрывоопасных зон, а значит, и на выбор соответствующего взрывозащищенного электрооборудования.

На основании указанных фактов требуется достаточно рациональное объяснение выбора величины $\Delta P = 5$ кПа в качестве критерия, который напрямую влияет на конечную стоимость объекта.

Хотелось бы отметить, что существуют различные способы снижения ΔP , которые позволяют расчетным путем снизить взрывопожароопасность производства, и сама по себе величина $\Delta P > 5$ кПа не является приговором. Ее можно уменьшить до приемлемых значений за счет ограничения массы выбрасываемых при расчетной аварии горючих газов (ГГ) или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ), а также через определение (по прил. Д⁴, а не по табл. А.1) коэффициента Z участия горючих газов и паров в горении.

Если есть возможность снижения величины ΔP на данной стадии, можно воспользоваться инженерными решениями, позволяющими внести изменения в ход выполняемых расчетов. Например, применение аварийной вентиляции с требуемой кратностью, уменьшение объемов емкостей с горючим веществом, геометрических размеров помещений, установка бортиков, поддонов, приямков и другие меры для уменьшения площади испарения пролитой ЛВЖ или ГЖ^{5, 6}.

¹ Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 6-е изд. М. : Энергоатомиздат, 1986.

² Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 27.12.2018) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. 2008. № 30 (ч. I), ст. 3579.

³ СП 423.1325800.2018. Электроустановки низковольтные зданий и сооружений. Правила проектирования во взрывоопасных зонах. Введ. 25.06.2019. М. : Минстрой России, 2019.

⁴ СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм. № 1). Введ. 01.05.2009. М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

⁵ СП 56.13330.2011. Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001 (с Изменениями № 1, 2, 3) (в ред. от 23.05.2020). Введ. 20.05.2011. М. : Минрегион России, 2020.

⁶ Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов (в ред. 15.01.2018). Введ. 03.06.2017. М. : Ростехнадзор, 2017.

Таблица 1. Исторические изменения в категорировании промышленных помещений (производств) по взрывопожароопасности

Нормативный документ	Категория взрывопожароопасных помещений (производств)		
	А	Б	Е
Временные иллюстрированные строительно-противопожарные нормы [1]	1) Газообразные вещества, дающие в смеси с воздухом вспышку или взрыв; 2) ЛВЖ с $t_{всп} \leq 45^\circ\text{C}$ (по прибору Абель-Пенского) при нормальном давлении (эфир, сероуглерод, бензин, ацетон и др.); 3) твердые вещества, самовоспламеняющиеся на воздухе при воздействии воды, выделяющие взрывоопасные газы и разлагающие воду со взрывом (фосфор, карбид кальция, металлический натрий и др.). С примерами производств	1) ГЖ с $t_{всп} > 45^\circ\text{C}$ (по прибору Мартенса-Пенского) при нормальном давлении; 2) твердые вещества, при обработке которых выделяется взрывоопасная пыль (мучная, сахарная и др.); 3) волокнистые вещества: хлопок, пенька, вата и др. (первичная обработка). С примерами производств	—
Общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий (ОСТ 90015–39)			
Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест: НСП 102-51; НСП 102-54	1) Вещества, воспламенение или взрыв которых могут последовать в результате воздействия воды или кислорода воздуха; 2) жидкости с $t_{всп} \leq 28^\circ\text{C}$; 3) горючие газы (ГГ) с нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПВ) менее 10 % к объему воздуха в количествах, которые могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси (ВС). С примерами производств. Добавлено категорирование складов	1) Жидкости с $t_{всп}$ выше 28°C и до 120°C ; 2) ГГ с НКПВ более 10 % к объему воздуха в количествах, которые могут образовывать с воздухом ВС; 3) горючие волокна и пыли (ГВ и ГП) во взвешенном состоянии, способные образовывать с воздухом ВС. С примерами производств	—
Строительные нормы и правила: СНиП II-V.7-54; СНиП II-M.2-62			
Строительные нормы и правила СНиП II-M.2-72* совместно с Указаниями по определению категории производств (СН 463-74)	1) ГГ с НКПВ 10 % и менее к объему воздуха и/или жидкости с $t_{всп} \leq 28^\circ\text{C}$ при условии, что указанные газы и жидкости могут образовывать ВС в объеме, превышающем 5 % объема помещения, а их время образования в этом объеме составляет менее 1 ч; 2) вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом или друг с другом. Без примеров производств	1) ГГ с НКПВ более 10 % к объему воздуха, в количествах, которые могут образовывать с воздухом ВС; 2) жидкости с $t_{всп}$ выше 28°C до 61°C включительно; 3) жидкости, нагретые выше температуры вспышки; 4) ГП и ГВ с НКПВ 65 г/м^3 и менее к объему воздуха При условии, что указанные газы, жидкости и пыли могут образовывать ВС в объеме, превышающем 5 % объема помещения. Без примеров производств	1) ГГ без жидкой фазы и взрывоопасной пыли, образующие с воздухом ВС в объеме более 5 % объема помещения, где возможен только взрыв без последующего горения; 2) вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом или друг с другом без последующего горения

Нормативный документ	Категория взрывопожароопасных помещений (производств)		
	А	Б	Е
Общесоюзные нор- мы технологического проектирования (ОНТП 24-86)	1) ГГ, ЛВЖ с $t_{\text{всп}} \leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздуш- ные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в по- мещении, превышающее 5 кПа; 2) вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с во- дой, кислородом или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа. Без примеров производств	1) ГП или ГВ, ЛВЖ с $t_{\text{всп}} > 28\text{ }^{\circ}\text{C}$, ГЖ в таком количестве, что могут обра- зовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоз- душные смеси, при воспла- менении которых развива- ется расчетное избыточное давление взрыва в помеще- нии, превышающее 5 кПа. Без примеров производств	—
Нормы ГПС МВД России: НПБ 105-95; НПБ 105-03*			
ГОСТ Р 12.3.047–98; ГОСТ Р 12.3.047– 2012 ⁷			
СП 12.13130.2009 ⁴			
* НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Введ. 01.08.2003. М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003.			

При оценке категорий помещений также следует руководствоваться действующими перечнями, правилами и рекомендациями различных министерств и ведомств РФ. Данные документы обычно составляются на базе накопленного опыта и статистических данных, полученных в ходе эксплуатации промышленных зданий и сооружений.

Величина избыточного давления взрыва влияет на последующий анализ возможных разрушений зданий и сооружений, которые следует рассматривать как дополнительный фактор развития и распространения пожара. Примеры типичных предельно допустимых значений ΔP с точки зрения повреждения зданий приводятся в табл. А.4 ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля»⁷ и табл. П 4.1 Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах⁸. Из этих документов можно сделать вывод о том, что значительные повреждения и разрушения зданий имеют место при величинах $\Delta P > 12$ кПа. До этого значения существует только угроза разрушения остекления. Исходя из данных показателей, не следует переживать за целостность структурных элементов здания при меньших давлениях, в том числе и при 5 кПа. Однако этот вывод не отражает реальную картину возможных последствий.

⁷ ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля : введ. 01.01.2014. М. : Стандартинформ, 2014.

⁸ Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изм. на 14.12.2010) : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404; введ. 10.07.2009 // Пожарная безопасность. 2009. № 3.

Например, в пособии⁹ указано следующее: «Из выполненных многочисленных расчетов по динамической несущей способности конструкций насосных и компрессорных следует, что снижение давления от внутреннего взрыва до уровня 5 кПа проблему взрывоопасности этих зданий не решает, так как при этом возможно разрушение практически всех несущих и ограждающих конструкций (рядовых панелей стен, плит покрытия, стропильных балок и пр.). При снижении давления внутри здания компрессорной конструкции до 3 кПа разрушаются только рядовые панели стен. Прочность же остальных рассмотренных выше конструкций и узлов их крепления достаточна для восприятия нагрузок от аварийного взрыва».

Аналогичный вывод можно сделать на основе изучения другой научной литературы. Обобщенные данные из различных источников¹⁰ [2–8] по видам воздействия ΔP на структурные элементы здания сведены в табл. 2. Данные табл. 2 показывают, что при $\Delta P = 5\ldots 10$ кПа может происходить значительное повреждение стен, перегородок, панелей и плит помещений. Нарушение их целостности способно привести к обрыву поддерживающих конструкций электропроводки, трубопроводов и другого инженерного оборудования, создающего угрозу развития следующей за взрывом пожароопасной ситуации. Для исключения подобного сценария и ограничения давления ΔP до величин 3...5 кПа следует

⁹ Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок. М. : АО «ЦНИИПромзданий», 2000. 121 с.

¹⁰ Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (с изм. на 26.11.2015). Введ. 10.12.2013. М. : Ростехнадзор, 2013.

Таблица 2. Виды воздействия избыточного давления взрыва на структурные элементы промышленных зданий и сооружений¹⁰ [2–8]

Условная степень повреждения (разрушения) здания или сооружения	Тип поврежденных (разрушенных) структурных элементов здания	Избыточное давление взрыва ΔP , кПа
Малая		До 5
	Повреждение остекления менее 5 %	0,2...0,3
	Заполнение оконных и дверных проемов	0,4...1,8
	Повреждение 5 % оконных проемов	0,7...1,0
	Повреждение 50 % оконных проемов	1,4...3,0
	Повреждение 90 % оконных проемов	3,4...6,8
	Панели стен из легких бетонов (частично)	0,8...2,0
	Штукатурка стен и потолков (частично)	1,4...3,0
	Настенная плитка, легкие перегородки, столярные изделия	3,0...5,0
	Вскрытие предохранительных (легкосбрасываемых) конструкций	3,0...5,0
	Каменные (кирпичные и блочные) стены (частично)	1,0...4,0
	Железобетонные плиты (частично)	2,0...10,0
	Стропильные балки и фермы (частично)	2,5...12,0
Средняя		5...50
	Колонны каркаса (частично)	5,0...20,0
	Металлические панели, черепица, деревянные панели	6,8...13,8
	Кирпичные стены, кровля, стальные конструкции и каркасы (частично)	12,0...14,0
	Обрушение стен из неармированного бетона или шлакоблока, кровли	13,8...20,7
	Разрушение 50 % кирпичной кладки	Более 17,2
	Деформация и обрушение стального каркаса промышленных зданий	20,6...30,0
	Разрыв резервуаров для хранения нефтепродуктов	20,7...27,6
	Смещение несущих конструкций трубопровода, его деформация и обрыв	28,0...40,0
	Деревянные опорные стойки	34,5
Сильная		50...100
	Разрушение зданий из кирпича	34,5...48,3
	Разрушение 50 % промышленных зданий	53,0
	Разрушение 50...75 % стен зданий толщиной 1,5 кирпича	68,5...80,0
	Смещение резервуара цилиндрической формы, выход из строя труб	50...100
	Опрокидывание и снос загруженных вагонов, емкостей, резервуаров	70...90
	Разрушение 75...90 % промышленных зданий	70,0...100
		более 100
Полная	Полное разрушение зданий	100...260

предусмотреть установку предохранительных (легкобрасываемых) конструкций. Обычно их роль выполняет остекление оконных проемов, площадь которого по СП 56.13330.2011 «Производственные здания»⁵ должна быть не менее 0,05 м² на 1 м³ объема помещения категории А и не менее 0,03 м² на 1 м³ помещения категории Б. Для разрушения оконного стекла размерами 1×1 м и толщиной 4 мм необходимо давление $\Delta P = 4,8$ кПа, а толщиной 5 мм — $\Delta P = 6,2...7,6$ кПа [3]. Этого вполне достаточно, чтобы исключить негативное воздействие избыточного давления на другие конструкции здания. Таким образом, принятое в нормах давление $\Delta P > 5$ кПа для категорирования помещений по взрыво-

пожароопасности, с позиции ограничения распространения пожара и сохранения целостности здания, можно считать вполне обоснованным.

Еще в ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля»⁷ и Методике⁸ указана величина избыточного давления 5 кПа в качестве нижнего порога повреждения человека волной давления. При более тщательном изучении литературы и эта величина оказывается немногим заниженной, и в большинстве случаев опасным считается $\Delta P > 10$ кПа⁹ [2–4]. Сводная табл. 3 по видам воздействия избыточного давления на организм человека представлена ниже.

Таблица 3. Воздействие волны давления на организм человека⁹ [2–4, 6, 9]

Тип воздействия	Характер воздействия на организм	Избыточное давление взрыва ΔP , кПа
Прямое	Раздражающий шум (137 дБ)	0,14
	Громкий шум (143 дБ)	0,28
	Получение травмы маловероятно	До 4,8
	Нижний порог повреждения человека волной давления	7...10
	Нижний предел безопасности людей на открытой местности (соответствует 0,1 атм = 0,1 кгс/см ² — 1-й технической атмосфере)	9,8
	5 % — вероятность получения баротравм	10
	Порог разрыва барабанной перепонки	13,8
	10 % — вероятность получения баротравм	15
	20 % — вероятность смертельного исхода для человека в здании	21
	50 % — вероятность разрыва барабанной перепонки	34,5...48,3
	Легкая контузия, возможны вывихи и ушибы	20...40
	50 % — вероятность смертельного исхода для человека в здании	35
	25 % — вероятность получения баротравм	35
	Вывихи конечностей, контузия головного мозга, повреждение органов слуха, кровотечения из носа и ушей	40...60
	Тяжелые контузии и травмы, контузия всего организма, переломы костей, кровотечения из носа и ушей, возможны внутренние кровотечения и повреждения внутренних органов	60...100
	50 % — вероятность получения баротравм	65
	90 % — вероятность разрыва барабанной перепонки	68,9...103
	100 % — смертности для человека в здании	70
	Порог для легочного кровотечения	82...103
	100 % — вероятность получения баротравм	100
	Разрывы внутренних органов	Более 100
	50 % — вероятность гибели от легочного кровотечения	138...172
	90 % — вероятность гибели от легочного кровотечения	207...241
	Немедленная смерть от взрыва	Более 480

Тип воздействия	Характер воздействия на организм	Избыточное давление взрыва ΔP , кПа
Косвенное	Диапазон минимально возможных поражений человека обломками зданий	2,7
	Диапазон от легких до серьезных травм от летящего стекла и других элементов здания	6,8...55,4
	Незначительные повреждения кожных покровов осколками стекла	6,8...13,8
	Человек сбит с ног ударной волной (травма от падения)	10...20
	Возможен смертельный исход от удара о препятствие	14
	50 % — вероятность получения серьезных ран от осколков стекла	27,5
	100 % — вероятность получения серьезных ран от осколков стекла	55
	Человек будет отброшен на некоторое расстояние	55...110
	Порог порезов кожи летящих осколков здания	69...138
	50 % — вероятность гибели от летящих осколков здания	280...340
	100 % — вероятность гибели от летящих осколков здания	480...690

Конечно, необходимо учитывать и другие факторы, увеличивающие или уменьшающие последствия взрыва на тело человека. К ним можно отнести: расстояние до места взрыва; наличие препятствий на пути прохождения волны давления; импульс волны давления; интенсивность теплового излучения; воздействие высокотемпературных продуктов сгорания газо- или паровоздушной смеси.

В большинстве случаев сочетание этих факторов позволяет определить реальную угрозу для людей с использованием пробит-функций Pr и последующего определения условной вероятности поражения человека при реализации j -го сценария развития аварии^{4, 8}. Тем не менее при значениях $\Delta P \leq 10$ кПа в большей степени можно говорить не о прямом, а о косвенном воздействии волны давления. Оно, в первую очередь, связано с летящими осколками стекла и других мелких элементов интерьера (болты, шурупы, гвозди и т.п.). Поэтому

границу $\Delta P = 5$ кПа следует рассматривать с позиции косвенных повреждений, вызывающих легкие травмы, а не прямых, связанных с волной давления. При несвоевременном оказании человеку медицинской помощи и эвакуации с места пожара такие травмы могут привести к его гибели.

Оценка индивидуального пожарного риска на производственных объектах⁸ включает в себя построение сценариев, где в результате воздействия опасных факторов пожара на человека (в том числе от сопутствующих проявлений) может наступить летальный исход⁷. Таким образом, учитывая опасность гибели людей от косвенного поражения волной давления, установленное нормами⁴, ⁷ значение $\Delta P > 5$ кПа можно считать обоснованным и принять за критерий оценки взрывопожароопасности помещений (производств).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов П.Н. Временные иллюстрированные строительно-противопожарные нормы для промышленных и складских сооружений. М. –Л. : Гострансиздат, 1936. 216 с.
2. Козлитин А.М. Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска. Саратов : СГТУ, 2005. С. 16–43.
3. Mannan S. Lee's loss prevention in the process industries. Hazard identification, assessment and control. Vol. 1. Third Edition. Butterworth-Heinemann, 2005. 3680 p. DOI: 10.1016/B978-0-7506-7555-0.X5081-6
4. Louvar J.F., Crowl D.A. Chemical process safety. Fundamentals with applications. Third Edition. Westford : Prentice Hall. 2011. 752 p.
5. Jeffries R.M., Gould L., Anastasiou D., Pottrill R. Derivation of fatality probability functions for occupants of buildings subject to blast loads. Phase 4. Health and Safety Executive (HSE), 1997. 340 p.
6. Dagdougui H., Sacile R., Bersani C., Ouammi A. Hydrogen infrastructure for energy applications. Production, storage, distribution and safety. Academic Press, 2018. 166 p. DOI: 10.1016/C2016-0-03214-X
7. Samie N.N. Practical engineering management of offshore oil and gas platforms. Gulf Professional Publishing, 2016. 574 p. DOI: 10.1016/C2014-0-04721-1
8. Nolan D. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical, and related facilities.

Fourth Edition. Gulf Professional Publishing, 2019. 522 p. DOI: 10.1016/C2017-0-04314-8

9. Major Hazard Control. A Practical Manual. An ILO Contribution to the International Programme on Chemical Safety of UNEP, ILO, WHO (IPCS). Geneva : International Labour Office, 1988. 296 p.

REFERENCES

1. Ivanov P.N. *Temporary illustrated constructional fire prevention regulations for industrial and warehouse facilities*. Moscow-Leningrad, Gosttransizdat Publ., 1936; 216. (rus.).

2. Kozlitsin A.M. Probabilistic methods of analysis of the consequences of a high-explosive impact on human, technological equipment, buildings, structures in emergencies at enterprises of the oil and gas industry. *Risk-based management of industrial and environmental safety of production facilities*. Saratov, SSTU Publ., 2005; 16-43. (rus.).

3. Mannan S. *Lee's Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control. Vol. 1. Third Edition*. Butterworth-Heinemann, 2005; 3680. DOI: 10.1016/B978-0-7506-7555-0.X5081-6

4. Louvar J.F., Crowl D.A. *Chemical Process Safety. Fundamentals with Applications. Third Edition*. Westford, Prentice Hall, 2011; 752.

5. Jeffries R.M., Gould L., Anastasiou D., Pottrill R. *Derivation of Fatality Probability Functions for Occupants of Buildings Subject to Blast Loads. Phase 4*. Health and Safety Executive (HSE), 1997; 340.

6. Dagdougui H., Sacile R., Bersani C., Ouammi A. *Hydrogen Infrastructure for Energy Applications. Production, Storage,*

age, Distribution and Safety. Academic Press, 2018; 166. DOI: 10.1016/C2016-0-03214-X

7. Samie N.N. *Practical Engineering Management of Offshore Oil and Gas Platforms*. Gulf Professional Publishing, 2016; 574. DOI: 10.1016/C2014-0-04721-1

8. Nolan D. *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and Related Facilities. Fourth Edition*. Gulf Professional Publishing, 2019; 522. DOI: 10.1016/C2017-0-04314-8

9. Major Hazard Control. A Practical Manual. An ILO Contribution to the International Programme on Chemical Safety of UNEP, ILO, WHO (IPCS). Geneva, International Labour Office, 1988; 296.

Материал поступил в редакцию 20.05.2020

Received May 20, 2020

Информация об авторе

ХАРАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia; Moscow, Russian Federation; Author ID: 763967, e-mail: h_a_s@live.ru