

УДК 614.8

EDN: VXKQLO

**МЕТОДИКА БАЛЛЬНО-ФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ИНИЦИИРУЮЩИХ
ПОЖАРООПАСНЫЕ СИТУАЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ НАДЗЕМНЫХ ЕМКостей АГЗС**

© Авторы 2023

SPIN: 6944-7537

AuthorID: 906512

ORCID: 0009-0008-0435-5788

ОРЛОВСКИЙ Пётр Сергеевич, аспирант*Белорусско-Российский университет**(212000, Беларусь, Могилёв, проспект Мира, 43, e-mail: piotr080694@yandex.ru)*

SPIN: 8180-9072

AuthorID: 535992

ORCID: 0000-0001-8572-4697

ResearcherID: R-1013-2017

ScopusID: 57205428646

БЫЗОВ Антон Прокопьевич, кандидат технических наук, доцент,

доцент Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Россия, Санкт-Петербург, улица Политехническая, 29, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru)*

SPIN: 9999-3796

AuthorID: 703733

ORCID: 0000-0001-7936-4517

ResearcherID: S-5079-2017

ScopusID: 57201959692

АНДРЕЕВ Андрей Викторович, кандидат военных наук, доцент,

директор Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**(195251, Россия, Санкт-Петербург, улица Политехническая, 29, e-mail: andreev_av@spbstu.ru)*

Аннотация. Целью данной статьи является разработка системы балльно-факторной оценки вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии на основе существующих подходов к анализу пожарного риска на опасных производственных объектах. Для достижения цели исследования и формирования балльной оценки во взаимодействии с организацией, эксплуатирующей емкости хранения веществ под давлением, был получен ряд факторов, которые в дальнейшем были разделены на шесть групп. В работе были применены методы: анализа иерархий, сравнение, аналогия, изучение документов и результатов деятельности. Представлены результаты исследования и оценки вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии на опасном производственном объекте. Результатом работы являются разработанная система балльной оценки с группами факторов влияния на вероятность аварийной ситуации и полученные весовые коэффициенты групп и самих факторов. Предложена методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для надземных резервуаров сжиженных углеводородных газов (СУГ), расположенных и эксплуатируемых на автомобильных газозаправочных станциях. Полученные результаты можно будет применять при оценке пожарного риска для объектов, на которых могут произойти аварии, связанные с образованием взрывопожароопасной ситуации.

Ключевые слова: резервуар, авария, вероятность, метод, анализ, автомобильная газозаправочная станция, сжиженный углеводородный газ, риск, опасность, разгерметизация.

**METHOD FOR SCORE-FACTOR EVALUATION OF THE FREQUENCY OF FIRE HAZARDOUS
SITUATIONS INITIATED FOR ABOVE-GROUND RESERVOIRS OF GFS**

© The Authors 2023

ORLOVSKY Piotr Sergeevich, post-graduate student*Belarusian-Russian University**(212000, Belarus, Mogilev, Mira Ave, 43, e-mail: piotr080694@yandex.ru)***BYZOV Anton Prokop'evich**, candidate of technical sciences, associate professor,

associate professor of the Higher School of Technosphere Safety of the Civil Engineering Institute

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University**(195251, Russia, St. Petersburg, street Polytechnicheskaya, 29, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru)***ANDREEV Andrey Viktorovich**, candidate of military sciences, associate professor,

director of the Higher School of Technosphere Safety of the Civil Engineering Institute

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(195251, Russia, St. Petersburg, street Polytechnicheskaya, 29, e-mail: andreev_av@spbstu.ru)

Abstract. The purpose of this article is to develop a system of point-factor risk assessment of various emergency and organizational measures in high-risk conditions based on a quick approach to fire risk analysis at hazardous production facilities. To achieve the goal of the study and to form a scoring of the level of consumption using the concentration of accumulation under pressure, a number of options were obtained, which were further divided into six groups. The following methods were applied in the work: analysis of hierarchies, comparison, comparison, study of documents and results of activities. Presentation of the results of studies and assessments of the contributions of various technical and organizational measures to the assessment of the risk of natural disasters at a hazardous production facility. The result of the work is the developed scoring system, taking into account the results of the analysis of the probability of the occurrence of the situation and the obtained weight coefficients of factors and factors. A method for point-factor estimation of the frequency of occurrence of fire hazardous situations for above-ground LPG tanks, based on the use at automobile gas filling stations, is proposed. The results obtained can be applied in assessing the fire risk for objects in case of emergencies associated with the formation of an explosive and fire hazardous situation.

Keywords: reservoir, accident, probability, method, analysis, gas filling station, liquefied hydrocarbon gas, risk, danger, depressurization.

Для цитирования: Орловский П.С. Методика балльно-факторной оценки частоты иницирующихся пожароопасные ситуации событий для надземных емкостей АГЗС / П.С. Орловский, А.П. Бызов, А.В. Андреев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 3(63). – С. 141-146. – EDN: VVKQLO.

Введение. Одним из инструментов оценки пожарной опасности является определение расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Принятый подход к оценке пожарного риска [1] предусматривает оценку частот реализации пожароопасных ситуаций на основе типовой частоты реализации иницирующихся пожароопасных ситуаций событий для типового оборудования опасных производственных объектов. Однако, при использовании частоты разгерметизации для типового оборудования не учитывается множество факторов, характерных для конкретного оборудования, которые оказывают влияние на повышение или понижение частоты иницирующихся пожароопасных ситуаций событий.

С учетом роста популярности газового оборудования для автомобилей, а также размещения автогазозаправочных станций вблизи мест проживания или скопления населения вопросы оценки пожарного риска являются актуальными [2-7].

В рамках написания статьи была разработана система балльно-факторной оценки влияния различных технических и организационных мероприятий на величину частоты иницирующихся пожароопасных ситуаций событий. В результате анализа норм проектирования и эксплуатации надземных резервуаров СУГ получен перечень факторов, которые являются основой для балльно-факторной оценки [8-9].

Методология. Цель исследования – на основе требований в области проектирования, строительства и эксплуатации автогазозаправочных станций, а также опыта их эксплуатации разработать систему факторов, влияющих на величину частоты иницирующихся пожароопасных ситуаций событий, а также оценить веса указанных факторов.

В работе был применён метод анализа иерархий с построением матриц парных сравнений для вычисления весовых коэффициентов важности групп

факторов и важности самих факторов в этих группах.

Объектом исследования в работе является автомобильная газозаправочная станция с установленным надземным способом стальным горизонтальным резервуаром, наполненным сжиженным углеводородным газом.

Предмет исследования – система факторов, оказывающих влияние на частоту иницирующегося пожароопасную ситуацию событие – разгерметизацию резервуара.

Результаты. В результате анализа методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (Приказ МЧС №404 от 10.07.2009 [1]), методических основ анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах (Приказ Ростехнадзора №387 от 03.11.2022 [10]) и других источников [11-24], а также данных о частотах разгерметизации резервуаров с полным разрушением, а также с последующим истечением газа через отверстие, было установлено, что одним из подходов к оценке вероятности может стать балльно-факторный метод. Который предусматривает разработку иерархической системы факторов, определение их весов и правил расчета баллов для каждого фактора.

Ожидаемая частота аварии на рассматриваемом объекте рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{част}} = P_{\text{ср}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{B_{\text{ср}}},$$

где $P_{\text{ср}}$ – в качестве частоты для разгерметизации среднестатистической емкости хранения веществ под давлением можем использовать данные, приведённые в Приказе №387 [10], взяв сумму частоты полного разрушения и частоты истечения через отверстие эффективным диаметром 10 мм равную $1,1 \times 10^{-5}$;

$B_{\text{ср}}$ – балльная оценка среднестатистической емкости хранения СУГ, разгерметизация которой

соответствует среднестатистической частоте аварий;

B_j – балльная оценка наблюдаемого на объекте фактора F_j , определяемая с помощью соответствующей балльно-факторной функции;

p_i – весовой коэффициент i -той группы факторов;

q_j – доля (весовой коэффициент) j -го фактора в i -той группе;

$I = 6$ – общее число групп факторов влияния;

$J(i)$ – общее число факторов влияния в i -ой группе.

Для оценки частоты аварии на автомобильной газозаправочной станции (АГЗС) необходимо ввести систему группировки факторов влияния в соответствии с причинами аварий, выявленными при анализе статистических данных по авариям. По этим данным выделяем группы факторов влияния с указанием вклада каждой группы. Доля группы получена с помощью метода анализа иерархий.

Наиболее простым подходом к балльной оценке каждого фактора влияния является применение экспертных оценок в диапазоне от 0 баллов, что соответствует наилучшему выполнению условий обеспечения безопасности для соответствующего фактора, до 10 баллов, что соответствует наихудшему выполнению условий обеспечения безопасности, 5 баллов должны соответствовать среднестатистическим балльным оценкам по каждому фактору влияния. В этом случае в качестве среднестатистической балльной оценки может быть принята величина 5 баллов.

В каждой группе имеется различное количество факторов влияния.

При балльно-факторной оценке ожидаемой частоты аварий на АГЗС используется совокупность наиболее значимых факторов, влияющих на вероятность разрушения надземного резервуара СУГ, которая разделена на 6 групп (табл. 1).

Из статистических данных по авариям на эксплуатируемых опасных объектах (резервуарах СУГ) рассматриваются следующие группы факторов влияния [25] (табл. 1).

Весовые коэффициенты для групп факторов были получены методом анализа иерархий (МАИ).

Чтобы установить приоритеты групп и получить

оценки, в МАИ используется метод парных сравнений – строятся матрицы парных сравнений.

Таблица 1 – Группы факторов влияния

Номер группы	Название группы факторов	Весовой коэффициент
FG ₁	Механические разрушения	0,14
FG ₂	Внешние условия	0,09
FG ₃	Хрупкие разрушения при низких температурах	0,06
FG ₄	Коррозия	0,08
FG ₅	Уровень технической эксплуатации	0,44
FG ₆	Природные воздействия	0,19
	Итого	1,00

При построении матриц парных сравнений используются шкалой важности (табл. 2).

По каждой матрице определяется вектор локальных приоритетов. В каждой строке матрицы рассчитываем геометрическое среднее. Затем находим сумму полученных значений. А далее делим геометрическое среднее каждого элемента на эту сумму. Так мы получим приоритеты сравниваемых факторов.

В таблице 3 представлена матрица для сравнения групп факторов, которые попарно сравнивались, в результате чего по полученным приоритетам самой важной оказалась группа FG₅ «Уровень технической эксплуатации».

В таблице 4 представлена оценка важности факторов в первой группе «Механические разрушения». Где самым важным оказался фактор F₁₂ «Дефекты сварных швов».

Далее аналогичным методом проводилось сравнение и определение важности факторов в других группах (табл. 5-9).

В таблице 10 представлены факторы влияния и их весовые коэффициенты. Разработка факторов велась методом мозгового штурма с привлечением представителей организации, эксплуатирующей АГЗС. При определении важности фактора составлялась фраза из шаблона, приведенного в последнем столбце таблицы 2, наиболее полно отражающая логическую зависимость.

Таблица 2 – Шкала важности

Присваиваемый балл	Пояснение	Конструкция контрольной фразы
1	Равная важность	<<наименование фактора>> «А» равнозначен <<наименование фактора>> «Б»
3	Умеренное превосходство	<<наименование фактора>> «А» немного больше влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
5	Существенное превосходство	<<наименование фактора>> «А» существенно сильнее влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
7	Значительное превосходство	<<наименование фактора>> «А» значительно сильнее влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
9	Максимальное превосходство	<<наименование фактора>> «А» максимально сильно влияет на возможность возникновения аварии по причине, связанной с <<наименование группы факторов>>, по сравнению с <<наименование фактора>> «Б»
2,4,6,8	Промежуточные степени превосходства (при необходимости)	

Таблица 3 – Оценка важности групп факторов

Группа	FG ₁	FG ₂	FG ₃	FG ₄	FG ₅	FG ₆	Произведение (Π)	Корень 6 степени из произведения ($\sqrt[6]{\Pi}$)	Приоритет
FG ₁	1	3	5	5	1/5	1/3	4,95	1,305	0,134
FG ₂	1/3	1	3	5	1/5	1/3	0,33	0,831	0,086
FG ₃	1/5	1/3	1	3	1/7	1/5	0,057	0,620	0,064
FG ₄	1/5	1/5	3	1	1/7	1/5	0,26	0,798	0,082
FG ₅	5	5	7	7	1	5	6125	4,277	0,44
FG ₆	3	3	5	5	1/5	1	45	1,886	0,194
Итого								9,717	1,000

Таблица 4 – Оценка важности факторов в группе FG₁ «Механические разрушения»

Фактор	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₁₄	F ₁₅	F ₁₆	F ₁₇	F ₁₈	Произведение (Π)	Корень 8 степени из произведения ($\sqrt[8]{\Pi}$)	Приоритет
F ₁₁	1	1/3	1/3	3	5	7	3	3	105	1,789	0,168
F ₁₂	3	1	2	4	6	7	4	4	16128	3,357	0,312
F ₁₃	3	1/2	1	1/4	4	6	1/4	2	4,5	1,207	0,112
F ₁₄	1/3	1/4	4	1	4	6	3	3	72	1,707	0,159
F ₁₅	1/5	1/6	1/4	1/4	1	3	1/5	1/2	6,25×10 ⁻⁴	0,398	0,037
F ₁₆	1/7	1/7	1/6	1/6	1/3	1	1/5	1/6	6,3×10 ⁻⁶	0,224	0,021
F ₁₇	1/3	1/4	4	1/3	5	5	1	6	16,66	1,421	0,132
F ₁₈	1/3	1/4	1/2	1/3	2	6	1/6	1	0,027	0,637	0,059
Итого										10,74	1,000

Таблица 5 – Оценка важности факторов в группе FG₂ «Внешние воздействия»

Фактор	F ₂₁	F ₂₂	F ₂₃	F ₂₄	F ₂₅	F ₂₆	F ₂₇	Произведение (Π)	Корень 7 степени из произведения ($\sqrt[7]{\Pi}$)	Приоритет
F ₂₁	1	5	7	1	1/3	1/3	5	19,444	1,528	0,15
F ₂₂	1/5	1	1	1/5	1/5	1/5	1/7	0,0003	0,314	0,03
F ₂₃	1/7	1	1	1/7	1/7	1/3	1/7	0,0001	0,268	0,03
F ₂₄	1	5	7	1	1/5	1/3	3	7	1,32	0,13
F ₂₅	3	5	7	5	1	3	7	11025	3,78	0,37
F ₂₆	3	5	3	3	1/3	1	5	225	2,168	0,22
F ₂₇	1/5	7	7	1/3	1/7	1/5	1	0,093	0,712	0,07
Итого									10,09	1,000

Таблица 6 – Оценка важности факторов в группе FG₃ «Хрупкие разрушения при низких температурах»

Фактор	F ₃₁	F ₃₂	F ₃₃	Произведение (Π)	Корень 3 степени из произведения ($\sqrt[3]{\Pi}$)	Приоритет
F ₃₁	1	1/7	1/3	0,048	0,363	0,088
F ₃₂	7	1	3	21	2,759	0,669
F ₃₃	3	1/3	1	1	1	0,243
Итого					4,122	1,000

Таблица 7 – Оценка важности факторов в группе FG₄ «Коррозия»

Фактор	F ₄₁	F ₄₂	F ₄₃	Произведение (Π)	Корень 3 степени из произведения ($\sqrt[3]{\Pi}$)	Приоритет
F ₄₁	1	1/5	1/3	0,066	0,404	0,105
F ₄₂	5	1	3	15	2,466	0,637
F ₄₃	3	1/3	1	1	1	0,258
Итого					3,870	1,000

Таблица 8 – Оценка важности факторов в группе FG₅ «Уровень технической эксплуатации»

Фактор	F ₅₁	F ₅₂	F ₅₃	F ₅₄	F ₅₅	F ₅₆	Произведение (Π)	Корень 6 степени из произведения ($\sqrt[6]{\Pi}$)	Приоритет
F ₅₁	1	1/7	1/5	1/7	1/3	1/3	0,0005	0,282	0,034
F ₅₂	7	1	5	3	3	3	945	3,133	0,374
F ₅₃	5	1/5	1	1/3	3	3	3	1,2	0,143
F ₅₄	7	1/3	3	1	7	5	245	2,501	0,298
F ₅₅	3	1/3	1/3	1/7	1	1/3	0,016	0,502	0,060
F ₅₆	3	1/3	1/3	1/5	3	1	0,2	0,765	0,091
Итого								8,383	1,000

Таблица 9 – Оценка важности факторов в группе FG_6 «Природные воздействия»

Фактор	F_{61}	F_{62}	F_{63}	F_{64}	Произведение (Π)	Корень 4 степени из произведения ($\sqrt[4]{\Pi}$)	Приоритет
F_{61}	1	5	1/7	1/3	0,238	0,698	0,114
F_{62}	1/5	1	1/7	1/3	0,01	0,316	0,052
F_{63}	7	7	1	5	245	3,956	0,645
F_{64}	3	3	1/5	1	1,8	1,158	0,189
Итого						6,128	1,000

Таблица 10 – Факторы влияния

Группа факторов	Вес группы	Фактор влияния		Вес фактора в группе
FG_1 : Механические разрушения	0,14	F_{11}	Отношение фактической толщины стенки резервуара к требуемой	0,17
		F_{12}	Дефекты сварных швов	0,31
		F_{13}	Рабочее (избыточное) давление	0,11
		F_{14}	Исправность и надежность запорной и предохранительной арматуры	0,16
		F_{15}	Гидроиспытания	0,04
		F_{16}	Возможность возникновения гидравлических ударов	0,02
		F_{17}	Система автоматизированного контроля (наличие)	0,13
		F_{18}	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине механических разрушений	0,06
FG_2 : Внешние условия	0,09	F_{21}	Наличие взрывопожароопасных веществ вблизи емкости	0,15
		F_{22}	Грузооборот	0,03
		F_{23}	Региональный фактор культуры вождения (вероятность наезда, удара)	0,03
		F_{24}	Нарушение требований пожарной безопасности при выполнении огневых работ	0,13
		F_{25}	Диверсионный акт (теракт)	0,37
		F_{26}	Защита от пожара	0,22
		F_{27}	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС из-за воздействия 3-х лиц	0,07
FG_3 : Хрупкие разрушения при низких температурах	0,06	F_{31}	Климатические условия (регион)	0,09
		F_{32}	Исполнение материала (хладостойкий и не хладостойкий)	0,67
		F_{33}	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине хрупкого разрушения при низких температурах	0,24
FG_4 : Коррозия	0,08	F_{41}	Температура окружающей среды	0,11
		F_{42}	Наличие дефектов лакокрасочного покрытия	0,63
		F_{43}	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине коррозии	0,26
FG_5 : Уровень технической эксплуатации	0,44	F_{51}	Эксплуатационная документация	0,03
		F_{52}	Надежность системы противоаварийной защиты	0,37
		F_{53}	Квалификация персонала	0,15
		F_{54}	Нарушение клиентами АГЗС инструкций по безопасной заправке автомобилей	0,30
		F_{55}	Защита от статического электричества	0,06
		F_{56}	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине нарушений правил эксплуатации	0,09
FG_6 : Природные воздействия	0,19	F_{61}	Подвижки и деформации грунта	0,11
		F_{62}	Состав грунта с точки зрения его несущей способности	0,05
		F_{63}	Грозовая активность	0,65
		F_{64}	Аварии и отказы, имевшие место на рассматриваемой АГЗС по причине природных воздействий	0,19

При формировании бальной оценки для факторов типа «Аварии и отказы, имевшие место по причине...» из каждой группы факторов, может быть принят подход, основанный на присвоении максимальной оценки в 10 баллов в случае возникновения ранее аварии на объекте по причинам, соответствующим группе факторов, при этом бальные

оценки при возникновении отказов оцениваются экспертно в зависимости от тяжести их последствий.

Обсуждение. Одним из наиболее распространённых подходов к оценке частоты инициирующих событий является метод «дереьев отказов», в основу которого положен аппарат алгебры логики и использования логических операторов «И» и

«ИЛИ» [1,10, 13-22]. Вероятность реализации иницирующего события определяется исходя из вероятностей реализации исходных событий или их комбинаций. Однако, задача определения вероятностей исходных событий является весьма затруднительной и не представлена в виде готового решения в существующих нормативных методиках [10-12].

При этом подход, основанный на балльно-факторной оценке обладает значительным преимуществом с точки зрения возможности использования широкого круга факторов влияния и их оценки. Основным недостатком использованного подхода является его субъективность и чувствительность по отношению к уровню квалификации эксперта или экспертной группы.

Выводы. В результате проведенного анализа была предложена методика балльно-факторной оценки частоты иницирующих пожароопасные ситуации событий для наземных резервуаров СУГ. Были выявлены 31 фактор влияния на частоту возникновения иницирующих пожароопасные ситуации событий, объединённые в 6 групп. Весовые коэффициенты определены методом анализа иерархий с учетом опыта эксплуатации автогазозаправочных станций.

Развитие данного подхода следует реализовывать в направлении повышения объективности оценок весовых коэффициентов, путем привлечения к обсуждению широкого круга специалистов в области проектирования, строительства и эксплуатации резервуаров с СУГ.

Кроме того, разработка единой системы оценивания балльных оценок по каждому фактору позволит осуществлять оценку и сравнение частот возникновения иницирующих событий, а также даст возможность разрабатывать специальные мероприятия по снижению риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010) "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах".
2. Орловский П.С. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах нефтепродуктообеспечения в Республике Беларусь // Актуальные проблемы науки и техники. Материалы II Междунар. науч.-техн. конф., ФГБОУ ВО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова". Ижевск, 2022. – С. 841-843.
3. Орловский П.С., Гуменюк В.И. Концепция рисков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 247-248.
4. Орловский П.С. Анализ существующих норм и требований в области проектирования и эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. мол. уч. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 130.
5. Полохович М.А. Риск-ориентированный подход в управлении промышленной безопасностью // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13-14 апреля 2017 года. – Санкт-Петербург: Политехнического университета, 2017. – С. 121-125.
6. Колесников, Е.Ю., Филиппидис В. Проблемы риск-ориентированного подхода // Проблемы анализа риска. –

2021. – Т. 18. – № 6. – С. 84-92.

7. Румянцева Н.В., Логвинова Ю.В., Ульянов А.И. Подходы к оценке профессионального риска // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2019. – № 3. – С. 441-448.
8. Орловский П.С. Оценка вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2022): материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию УГАТУ. Уфа, 2022. – С. 59-61.
9. Орловский П.С. Влияние особенностей проектов АЗС на величину риска аварии // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 125.
10. Приказ Ростехнадзора от 03.11.2022 N 387 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах".
11. Приказ Ростехнадзора от 01.12.2020 N 478 "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах".
12. Приказ Ростехнадзора от 22.12.2022 N 454 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа".
13. Marques RO, de Vasconcelos V. Risk Management //VII Annual Scientific Initiation Seminar of the Nuclear Technology Development Center Abstract book. – С. 29.
14. Jin Jun. Risk assessment method for vapor cloud explosion accident // Fire technology and product information. – 2014. – №. 12. – С. 25-27.
15. Liu, Kui, Shin, Man-pair. Application of the TNO multi-energy method to estimate the blast resistance requirements of buildings in petrochemical companies – 2021. – Т. 51. – №. 3. – С. 69.
16. Zemenkova M. Y. et al. System of controlling the reliability of hydraulic machinery in oil and gas facilities //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 127. – №. 1. – С. 012055.
17. Zhang B., Liu Y., Qiao S. A quantitative individual risk assessment method in process facilities with toxic gas release hazards: a combined scenario set and CFD approach //Process safety progress. – 2019. – Т. 38. – №. 1. – С. 52-60.
18. Stankovic G. et al. Influence of implementation of technologically advanced evacuation models on the process of decreasing the risk during accidents in an LNG terminal //Transport Problems. – 2017. – Т. 12.
19. E. Shashi Menon, Pipeline Planning and Construction Field Manual, Elsevier Inc. 2011. – С. 552.
20. Transportation research board special report 324 Designing Safety Regulations for High-Hazard Industries/The National Academies Press, 2018.
21. Usman Abubakar An Overview of the Occupational Safety and Health Systems of Nigeria, UK, USA, Australia and China: Nigeria Being the Reference Case Study/ American Journal of Educational Research, 2015. – Vol. 3. – No. 11. – P. 1350-1358.
22. Institution of Gas Engineers and Managers. Steel pipelines for high pressure gas transmission. IGEM/TSP/21/006. – 2021.
23. Колесников Е.Ю. Способы количественной оценки и уменьшения неопределенности аварийного риска взрывопожароопасных объектов // Надежность. – 2020. – Т. 20. – № 3. – С. 61-67.
24. Колесников Е.Ю. Необходимость учета неопределенности при количественной оценке пожарного риска // Пожарная безопасность. – 2022. – № 4(109). – С. 89-98.
25. Емельянова В.А. Оценка безопасности функционирования автомобильной газозаправочной станции посредством анализа техногенного риска // Проблемы анализа риска: научно-практический журнал. – Т. 17. – 2020. – №2. – С. 74-85.

Статья поступила в редакцию 21.08.2023

Статья принята к публикации 15.09.2023