

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-131-141

МЕТОДИКА БАЛЛЬНО-ФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ИНИЦИИРУЮЩИХ ПОЖАРООПАСНЫЕ СИТУАЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ЕМКостей АВТОМОБИЛЬНОЙ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Андреев Андрей Викторович;

✉ Бызов Антон Прокопьевич.

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия.**

Орловский Пётр Сергеевич.

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь

✉ byzov_ap@spbstu.ru

Аннотация. Целью статьи является разработка системы балльно-факторной оценки вкладов различных технических и организационных мероприятий в величину риска аварии на основе существующих подходов к оценке пожарного риска на опасных производственных объектах. Для достижения цели исследования и формирования балльной оценки во взаимодействии с организацией, эксплуатирующей подземные емкости хранения веществ под давлением, был получен ряд факторов влияния. В работе были применены методы: анализа иерархий, сравнение, аналогия, изучение документов и результатов деятельности. Результатом работы являются разработанная система балльной оценки с группами факторов влияния на вероятность пожароопасной ситуации и полученные весовые коэффициенты групп и самих факторов. Предложена методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для подземных резервуаров сжиженных углеводородных газов, 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, сжиженные углеводородные газы, пожарный риск

Для цитирования: Андреев А.В., Бызов А.П., Орловский П.С. Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для подземных емкостей автомобильной газозаправочной станции // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 131–141. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-131-141.

Scientific article

METHOD FOR SCORE-FACTOR EVALUATION OF THE FREQUENCY OF FIRE HAZARDOUS SITUATIONS INITIATED FOR UNDERGROUND RESERVOIRS OF GAS FILLING STATIONS

Andreev Andrey V.;

✉ Byzov Anton P.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia.

Orlovsky Piotr S.

Belarusian-Russian university, Mogilev, Belarus

✉ byzov_ap@spbstu.ru

Abstract. The purpose of the article is to develop a system for scoring the contributions of various technical and organizational measures to the magnitude of the risk of an accident based on existing approaches to the fire risk assessment at hazardous production facilities. To achieve the goal of the study and the formation of a score in cooperation with the organization operating the storage tanks of substances under pressure, a number of influencing factors were obtained. The following methods were applied in the work: analysis of hierarchies, comparison, analogy, study of documents and results of activities. The result of the work is the developed scoring system with groups of factors influencing the probability of an emergency and the resulting weight coefficients of the groups and the factors themselves. A method for point-factor estimation of the frequency of events initiating fire hazardous situations for underground liquefied petroleum gas tanks operated at gas filling stations is proposed. The results obtained can be used in assessing the fire risk for facilities where accidents can occur associated with the formation of an explosive and fire hazardous situation.

Keywords: reservoir, accident, probability, liquefied petroleum gas, fire risk

For citation: Andreev A.V., Byzov A.P., Orlovsky P.S. Method for score-factor evaluation of the frequency of fire hazardous situations initiated for underground reservoirs of gas filling stations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 4 (68). P. 131–141. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-131-141.

Введение

Вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов приема, хранения и отпуска нефтепродуктов в настоящий момент являются актуальными в силу расположения данного типа объектов в городской черте вблизи потенциальных реципиентов негативного воздействия [1–3]. Анализ статистики аварий и пожаров на подобных объектах свидетельствует о сохраняющейся на высоком уровне частоте аварий. На основе проведенного анализа произошедших аварий была установлена актуальность исследований, связанных с анализом опасностей и оценкой пожарного риска для подобных объектов.

Повышенной опасностью среди всех объектов нефтепродуктообеспечения обладают автомобильные газозаправочные станции (АГЗС) в силу обращения на них сжиженных углеводородных газов (СУГ), обладающих повышенной испаряемостью и повышенной теплотворной способностью. В настоящее время разработаны методы оценки частот реализации различных сценариев возникновения пожаров, однако отсутствуют общепринятые методики оценки риска, отражающие особенности эксплуатации емкостей хранения СУГ на АГЗС [4–5].

Целью работы является разработка методики балльно-факторной оценки влияния различных технических, технологических и организационных мероприятий на величину частоты возникновения пожароопасных ситуаций на АГЗС. Основные задачи исследования – анализ условий эксплуатации подземных резервуаров СУГ, разработка системы факторов, влияющих на частоту возникновения пожароопасных ситуаций на АГЗС, и определение их весов.

Методы исследования

В работе был применен метод анализа иерархий с построением матриц парных сравнений для вычисления весовых коэффициентов важности групп факторов и важности самих факторов в этих группах [6].

Объектом исследования в работе является АГЗС с установленным подземным способом стальным горизонтальным резервуаром, наполненным СУГ.

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

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящий момент типовыми схемами размещения емкостей с СУГ на АГЗС является подземное и надземное расположение. Безусловно, наибольшую опасность с точки зрения возможных последствий представляют надземные емкости в силу того, что в случае разгерметизации в формирование зон действия поражающих факторов будет вовлечен весь объем опасных веществ, содержащийся в емкости. Подземные емкости с этой точки зрения обладают дополнительной защитой в виде слоя грунта, который будет препятствовать выходу паров на поверхность. Однако в силу легкости паров, сценарий, связанный с выходом паров из разгерметизированной подземной емкости с СУГ, возможен. При этом следует отметить, что с точки зрения коррозионных процессов подземные емкости представляют большую опасность по сравнению с емкостями надземного исполнения по причине более затруднительного контроля их состояния и повышенного коррозионного износа емкости в силу непосредственного контакта с грунтами.

Общепринятым подходом к оценке частоты возникновения пожароопасных ситуаций на объектах защиты является метод «дерево отказов» [7, 8]. Однако применение данного метода затруднительно в силу сложности определения вероятности отказов элементов «дерева отказов», относящихся к социальным подсистемам, персоналу и руководству предприятий, эксплуатирующих АГЗС. Как правило, при оценке вероятности нарушения правил безопасности, совершения ошибок при проверке оборудования и иных действий в рамках построения «дерева отказов» используются типовые вероятности совершения ошибки персоналом без конкретизации с точки зрения квалификации персонала, наличия или отсутствия эксплуатационной документации и прочих организационных факторов. Кроме того, имеющаяся база статистической информации не позволяет четко выявить взаимосвязь между вероятностью возникновения аварии по причине технического характера, например, коррозии от влияющих факторов, таких как: наличие или отсутствие электрохимической защиты, коррозионных свойств среды и грунтов и т.п.

В результате анализа методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 [7]), методических основ анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах (приказ Ростехнадзора от 3 ноября 2022 г. № 387 (Приказ № 387) [8]) и других источников [9–22], а также опыта эксплуатации линейной части магистральных трубопроводов нефти и газа подземного исполнения, было установлено, что одним из вариантов оценки частоты является балльно-факторный метод, предусматривающий разработку системы факторов, определение их весов и правил расчета баллов для каждого фактора.

В этом случае ожидаемая частота реализации пожароопасных ситуаций на емкости с СУГ в подземном исполнении определяется как:

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

где P_{cp} – в качестве частоты для разгерметизации среднестатистической емкости хранения веществ под давлением можем использовать данные, приведенные в Приказе № 387 [8], взяв сумму частоты полного разрушения и частоты истечения через отверстие эффективным диаметром 10 мм, равную $1,1 \times 10^{-5}$; B_{cp} – балльная оценка среднестатистической емкости хранения СУГ, разгерметизация которой соответствует среднестатистической частоте аварий; B_{ij} – балльная оценка наблюдаемого на объекте фактора F_{ij} , определяемая с помощью соответствующей балльно-факторной функции; p_i – весовой коэффициент i -й группы факторов; q_{ij} – доля (весовой коэффициент) j -го фактора в i -й группе; $I = 4$ – общее число групп факторов влияния; $J_{(i)}$ – общее число факторов влияния в i -й группе.

Для оценки частоты аварии на 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 [6].

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 подземного резервуара СУГ, которая разделена на 4 группы (табл. 1).

В результате анализа статистических данных, а также опыта эксплуатации АГЗС предлагается рассматривать следующие группы факторов влияния.

Таблица 1

Группы факторов влияния

Номер группы	Название группы факторов	Весовой коэффициент
FG ₁	Механические разрушения	0,10
FG ₂	Коррозия	0,17
FG ₃	Уровень технической эксплуатации	0,64
FG ₄	Природные воздействия	0,09
	Итого	1,00

Весовые коэффициенты для групп факторов были получены методом анализа иерархий (МАИ) [6].

Чтобы установить приоритеты групп и получить оценки, в МАИ используется метод парных сравнений – строятся матрицы парных сравнений.

Для построения матриц парных сравнений используем шкалу важности [6] (табл. 2).

Таблица 2

Шкала важности факторов

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	

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 табл. 3 представлена матрица для сравнения групп факторов, которые попарно сравнивались, в результате чего по полученным приоритетам самой важной оказалась группа FG₃ «Уровень технической эксплуатации».

Таблица 3

Матрица сравнения групп факторов

Группа	FG ₁	FG ₂	FG ₃	FG ₄	Произведение	$\sqrt[4]{\text{из произведения}}$	Приоритет
FG ₁	1	1/3	1/6	2	0,111	0,577	0,10
FG ₂	3	1	1/4	1	0,75	0,93	0,17
FG ₃	6	4	1	7	168	3,6	0,64
FG ₄	1/2	1	1/7	1	0,071	0,517	0,09
Итого						5,624	1,00

В табл. 4 представлена оценка важности факторов в первой группе «Механические разрушения». Где самым важным оказался фактор F₁₄ «Исправность и надежность запорной и предохранительной арматуры».

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	$\sqrt[8]{\text{произведе-}}^{\text{ния}}$	Приоритет
F ₁₁	1	1/5	1/4	1/8	1/2	1/3	1/7	1	0,00015	0,333	0,03
F ₁₂	5	1	3	1/6	2	3	1/4	3	11,25	1,353	0,12
F ₁₃	4	1/3	1	1/5	3	2	1/5	4	1,28	1,031	0,09
F ₁₄	8	6	5	1	6	5	4	7	201600	4,603	0,39
F ₁₅	2	1/2	1/3	1/6	1	1/3	1/5	1/3	0,001	0,422	0,04
F ₁₆	3	1/3	1/2	1/5	3	1	1/3	1/2	0,05	0,688	0,06
F ₁₇	7	4	5	1/4	5	3	1	4	2100	2,602	0,22
F ₁₈	1	1/3	1/4	1/7	3	2	1/4	1	0,018	0,605	0,05
Итого										11,637	1,00

Далее аналогичным методом проводилось сравнение и определение важности факторов в других группах (табл. 5–7).

Таблица 5

Оценка важности факторов в группе FG₂ «Коррозия»

Фактор	F ₂₁	F ₂₂	F ₂₃	F ₂₄	F ₂₅	F ₂₆	Произведение	$\sqrt[6]{\text{произведе-}}^{\text{ния}}$	Приоритет
F ₂₁	1	1/6	1/2	1/6	1/2	1/3	0,002	0,355	0,04
F ₂₂	6	1	5	1	5	4	600	2,904	0,35
F ₂₃	2	1/5	1	1/5	1	1/2	0,04	0,585	0,07
F ₂₄	6	1	5	1	5	4	600	2,904	0,35
F ₂₅	2	1/5	1	1/5	1	1/2	0,04	0,585	0,07
F ₂₆	3	1/4	2	1/4	2	1	0,75	0,953	0,12
Итого								8,286	1,00

Таблица 6

Оценка важности факторов в группе FG₃ «Уровень технической эксплуатации»

Фактор	F ₃₁	F ₃₂	F ₃₃	F ₃₄	F ₃₅	Произведение	$\sqrt[5]{\text{произведе-}}^{\text{ния}}$	Приоритет
F ₃₁	1	1/7	1/5	1/7	1/3	0,001	0,251	0,04
F ₃₂	7	1	5	1/2	3	52,5	2,208	0,32
F ₃₃	5	1/5	1	1/3	3	1	1	0,14
F ₃₄	7	2	3	1	5	210	2,914	0,42
F ₃₅	3	1/3	1/3	1/5	1	0,066	0,580	0,08
Итого							6,953	1,00

Таблица 7

Оценка важности факторов в группе FG₄ «Природные воздействия»

Фактор	F ₄₁	F ₄₂	F ₄₃	F ₄₄	F ₄₅	F ₄₆	Произведение	$\sqrt[6]{\text{произведе-}}^{\text{ния}}$	Приоритет
F ₄₁	1	5	4	1/7	6	1	17,143	1,606	0,17
F ₄₂	1/5	1	1/3	1/8	1	1/2	0,004	0,398	0,05
F ₄₃	1/4	3	1	1/7	3	1/2	0,161	0,738	0,09
F ₄₄	7	8	7	1	3	5	5880	4,248	0,49
F ₄₅	1/6	1	1/3	1/3	1	1/5	0,004	0,398	0,05
F ₄₆	1	2	2	1/5	5	1	4	1,260	0,15
Итого								8,648	1,00

В табл. 8 представлены факторы влияния и их весовые коэффициенты. Разработка факторов велась методом мозгового штурма с привлечением представителей организации, эксплуатирующей объект.

Таблица 8

Факторы влияния и их весовые коэффициенты

Группа факторов	Вес группы	Фактор влияния		Вес фактора в группе
FG ₁ : Механические разрушения	0,10	F ₁₁	Отношение фактической толщины стенки резервуара к требуемой	0,03
		F ₁₂	Дефекты сварных швов	0,12
		F ₁₃	Рабочее (избыточное) давление	0,09
		F ₁₄	Исправность и надежность запорной и предохранительной арматуры	0,39
		F ₁₅	Гидроиспытания	0,04
		F ₁₆	Возможность возникновения гидравлических ударов	0,06
		F ₁₇	Система автоматизированного контроля (наличие)	0,22
		F ₁₈	Аварии и отказы, имевшие место на АГЗС по причине механических разрушений	0,05
FG ₂ : Коррозия	0,17	F ₂₁	Температура среды	0,04
		F ₂₂	Тип и состояние изоляционного покрытия	0,35
		F ₂₃	Коррозионные свойства грунтов (почвенная коррозия)	0,07
		F ₂₄	Качество работы устройств электрохимической защиты	0,35
		F ₂₅	Мониторинг и контроль эффективности электрохимической защиты	0,07
		F ₂₆	Аварии и отказы, имевшие место по причине коррозии	0,12
FG ₃ : Уровень технической эксплуатации	0,64	F ₃₁	Эксплуатационная документация	0,04
		F ₃₂	Контроль воздушной среды на наличие утечек	0,32
		F ₃₃	Квалификация персонала	0,14
		F ₃₄	Нарушение клиентами АГЗС инструкций по безопасной заправке автомобилей	0,42
		F ₃₅	Аварии и отказы, имевшие место по причине нарушений правил эксплуатации	0,08
FG ₄ : Природные воздействия	0,09	F ₄₁	Подвижки и деформации грунта	0,17
		F ₄₂	Уровень грунтовых вод	0,05
		F ₄₃	Состав грунта с точки зрения его несущей способности	0,09
		F ₄₄	Грозовая активность	0,49
		F ₄₅	Глубина заложения резервуара	0,05
		F ₄₆	Аварии и отказы, имевшие место по причине природных воздействий	0,15

В основе общепринятого подхода к определению вероятности инициирующего события, метода «дерева отказов», лежит аппарат алгебры логики и использования логических операторов «И» и «ИЛИ» [7–8, 15–22]. Вероятность реализации инициирующего 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 [8–10].

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.

Заключение

В работе представлена методика балльно-факторной оценки влияния различных технических, технологических, организационных и иных мероприятий и условий функционирования АГЗС на вероятность возникновения пожароопасной ситуации.

Впервые для АГЗС разработана система факторов и оценены их веса с использованием метода анализа иерархий Томаса Саати. Предложенный подход позволяет индивидуализировать оценку частоты возникновения пожароопасных событий путем изменения парных сравнений, а также внесения новых факторов путем добавления векторов парных сравнений в уже имеющийся набор данных. Это позволит учитывать отступления от требований в области пожарной безопасности и разрабатывать компенсирующие мероприятия, обоснованные оценкой пожарного риска.

Список источников

1. Полюхович М.А. Риск-ориентированный подход в управлении промышленной безопасностью // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. науч. трудов IX Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. политехн. ун-та Петра Великого, 2017. С. 121–125.
2. Ефремов С.В., Ульянов А.И., Ульянова А.Г. Разработка подхода к оценке эффективности управления профессиональными рисками // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11. № 4 (60). С. 233–237.
3. Подходы к оценке профессионального риска / Н.В. Румянцева [и др.] // Научные труды КубГТУ. 2019. № 3. С. 441–448. EDN KGXTMD.
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. молодых ученых. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. С. 130.
5. 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.
6. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
7. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 (в ред. от 14 дек. 2010 г.). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
8. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 марта 2022 г. № 387. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
9. 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»: приказ Ростехнадзора от 1 дек. 2020 г. № 478. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

10. Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа»: приказ Ростехнадзора от 22 дек. 2022 г. № 454. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
11. Применение метода имитационного моделирования для расчета и оценки пожарного риска здания / М.О. Авдеева [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11. № 3 (59). С. 170–175.
12. Колесников Е.Ю. Способы количественной оценки и уменьшения неопределенности аварийного риска взрывопожароопасных объектов // Надежность. 2020. Т. 20. № 3. С. 61–67.
13. Колесников Е.Ю. Проблемы риск-ориентированного подхода // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 6. С. 84–92.
14. Колесников Е.Ю., Филиппидис В. Необходимость учета неопределенности при количественной оценке пожарного риска // Пожарная безопасность. 2022. № 4 (109). С. 89–98.
15. Marques R.O., de Vasconcelos V. Risk Management // VII Annual scientific initiation seminar of the nuclear technology development center abstract book. С. 29.
16. Jin Jun. Risk assessment method for vapor cloud explosion accident // Fire technology and product information. 2014. № 12. С. 25–27.
17. Liu, Kui, Shin. Application of the TNO multienergy method to estimate the blast resistance requirements of buildings in petrochemical companies. 2021. Т. 51. № 3. С. 69.
18. System of controlling the reliability of hydraulic machinery in oil and gas facilities / M.Yu. Zemenkova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2016. Т. 127. № 1. С. 012055.
19. 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.
20. Menon E.S. Pipeline planning and construction field manual. Elsevier Inc., 2011. С. 552.
21. Transportation research board special report 324 Designing Safety Regulations for High-Hazard Industries. Washington: The National Academies Press, 2018.
22. Steel pipelines for high pressure gas transmission // Institution of Gas Engineers and Managers. 2021. IGEM/TSP/21/006.

References

1. Polyuhovich M.A. Risk-orientirovannyj podhod v upravlenii promyshlennoj bezopasnost'yu // Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah: sb. nauch. trudov IX Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. politekhn. un-ta Petra Velikogo, 2017. S. 121–125.
2. Efremov S.V., Ul'yanov A.I., Ul'yanova A.G. Razrabotka podhoda k ocenke effektivnosti upravleniya professional'nymi riskami // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2022. Т. 11. № 4 (60). S. 233–237.
3. Podhody k ocenke professional'nogo riska / N.V. Rumyanceva [i dr.] // Nauchnye trudy KubGTU. 2019. № 3. S. 441–448. EDN KGXTMD.
4. Orlovskij P.S. Analiz sushchestvuyushchih norm i trebovanij v oblasti proektirovaniya i ekspluatatsii ob"ektov nefteproduktobespecheniya // Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodyh uchenyh. Mogilev: Belorus.-Ros. un-t, 2021. S. 130.
5. Orlovskij P.S. Vliyanie osobennostej projektov AZS na velichinu riska avarii // Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodyh uchenyh. Mogilev: Belorus.-Ros. un-t, 2022. S. 125.
6. Saati T.L. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij: per. s angl. M.: Radio i svyaz', 1993. 320 s.
7. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozhnarnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404 (v red. ot 14 dek. 2010 g.). Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».

8. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah»: prikaz Rostekhnadzora ot 3 marta 2022 g. № 387. Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».
9. Ob utverzhdenii federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Osnovnye trebovaniya k provedeniyu nerazrushayushchego kontrolya tekhnicheskikh ustrojstv, zdaniy i sooruzhenij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah»: prikaz Rostekhnadzora ot 1 dek. 2020 g. № 478. Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».
10. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodika ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah magistral'nogo truboprovodnogo transporta gaza»: prikaz Rostekhnadzora ot 22 dek. 2022 g. № 454. Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».
11. Primenenie metoda imitacionnogo modelirovaniya dlya rascheta i ocenki pozharnogo riska zdaniya / M.O. Avdeeva [i dr.] // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2022. T. 11. № 3 (59). S. 170–175.
12. Kolesnikov E.Yu. Sposoby kolichestvennoj ocenki i umen'sheniya neopredelennosti avarijnogo riska vzryvopozharoopasnyh ob"ektov // Nadezhnost'. 2020. T. 20. № 3. S. 61–67.
13. Kolesnikov E.Yu. Problemy risk-orientirovannogo podhoda // Problemy analiza riska. 2021. T. 18. № 6. S. 84–92.
14. Kolesnikov E.Yu., Filippidis V. Neobhodimost' ucheta neopredelennosti pri kolichestvennoj ocenke pozharnogo riska // Pozharnaya bezopasnost'. 2022. № 4 (109). S. 89–98.
15. Marques R.O., de Vasconcelos V. Risk Management // VII Annual scientific initiation seminar of the nuclear technology development center abstract book. S. 29.
16. Jin Jun. Risk assessment method for vapor cloud explosion accident // Fire technology and product information. 2014. № 12. S. 25–27.
17. Liu, Kui, Shin. Application of the TNO multienergy method to estimate the blast resistance requirements of buildings in petrochemical companies. 2021. T. 51. № 3. S. 69.
18. System of controlling the reliability of hydraulic machinery in oil and gas facilities / M.Yu. Zemenkova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2016. T. 127. № 1. S. 012055.
19. 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. T. 38. № 1. S. 52–60.
20. Menon E.S. Pipeline planning and construction field manual. Elsevier Inc., 2011. S. 552.
21. Transportation research board special report 324 Designing Safety Regulations for High-Hazard Industries. Washington: The National Academies Press, 2018.
22. Steel pipelines for high pressure gas transmission // Institution of Gas Engineers and Managers. 2021. IGEM/TSP/21/006.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 22.08.2023; одобрена после рецензирования: 20.10.2023;
принята к публикации: 30.10.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 22.08.2023; approved after review: 20.10.2023;
accepted for publication: 30.10.2023

Информация об авторах:

Андреев Андрей Викторович, директор Высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, доцент, e-mail: andreev_av@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7936-4517>, SPIN-код: 9999-3796

Бызов Антон Прокопьевич, доцент Высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, доцент, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8572-4697>, SPIN-код: 8180-9072

Орловский Пётр Сергеевич, старший преподаватель Белорусско-Российского университета (Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, пр. Мира, д. 43), e-mail: piotr080694@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0435-5788>, SPIN-код: 6944-7537

Information about the authors:

Andreev Andrey A., director of the Higher school of technosphere safety of the Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), candidate of technical sciences, docent, e-mail: andreev_av@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7936-4517>, SPIN: 9999-3796

Byzov Anton P., associate professor at the Higher school of technosphere safety of the Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), candidate of technical sciences, docent, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8572-4697>, SPIN: 8180-9072

Orlovsky Piotr S., senior lecturer of the Belarusian-Russian university (Republic of Belarus, 212000, Mogilev, prospekt Mira, 43), e-mail: piotr080694@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0435-5788>, SPIN: 6944-7537