

DOI: 10.24000/0409-2961-2023-7-85-92

УДК 629.039.58

© Коллектив авторов, 2023

# Актуализация руководств по безопасности в области оценки риска аварий на производственных объектах



**М.В. Лисанов,**  
д-р техн. наук, директор  
центра анализа риска,  
risk@safety.ru



**А.А. Агапов,**  
канд. техн. наук,  
директор расчетно-  
аналитического центра



**С.Х. Зайнетдинов,**  
науч. сотрудник



**С.И. Сумской,**  
канд. техн. наук,  
доцент



**А.С. Софьин,**  
канд. техн. наук, зав.  
отделом

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия

НИЯУ МИФИ, Москва,  
Россия

АНО «Агентство  
исследований  
промышленных рисков»,  
Москва, Россия

В статье рассматривается комплекс методов анализа риска аварий, изложенных в 13 руководствах по безопасности, актуализированных по итогам «регуляторной гильотины» требований промышленной безопасности и практики анализа риска. Представлены изменения в указанных руководствах, связанные с юридическими требованиями к терминологии, необходимостью придания данному комплексу руководств большей системности. Уточнены алгоритмы расчета показателей риска и зон поражения, в том числе для снижения консервативности оценок. Предложены основные направления по дальнейшему совершенствованию методического обеспечения анализа риска на опасных производственных объектах.

**Ключевые слова:** авария, анализ, методика, промышленная безопасность, риск, оценка, опасный производственный объект.

**Для цитирования:** Лисанов М.В., Агапов А.А., Зайнетдинов С.Х., Сумской С.И., Софьин А.С. Актуализация руководств по безопасности в области оценки риска аварий на производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 7. С. 85–92. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-7-85-92

## Updating Safety Guides in the Field of Accident Risk Assessment at the Production Facilities

**M.V. Lisanov**, Dr. Sci. (Eng.), Director of Risk Analysis Center, risk@safety.ru, **A.A. Agapov**, Cand. Sci. (Eng.), Director of the Computational Analysis Center, **S.Kh. Zaynetdinov**, Research Associate (STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia), **S.I. Sumskoy**, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof. (National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia), **A.S. Sofyin**, Cand. Sci. (Eng.), Department Head (ANO «Industrial Risk Research Agency», Moscow, Russia)

**Abstract.** Changes in the legislation in the field of industrial safety, as well as the experience of declaring industrial safety, developing safety cases for hazardous production facilities and other work related to risk analysis (assessment), required introduction of changes to the set of Rostekhnadzor safety guidelines, most of which were developed in the period of 2013–2018.

For this purpose, in agreement with Rostekhnadzor, the specialists from the Group of Companies «Industrial Safety» (STC IS), STC «Industrial Safety» CJSC, ANO «Industrial Risk Research Agency», Fund of James Bruce) on a voluntary basis in the period of 2020–2022 prepared and sent to Rostekhnadzor the drafts of amendments of 13 safety guides, which are currently approved.

The article presents a classification of the above safety guides by content and considers a set of methods for accident risk analyses. The changes are presented in these guides related to the legal requirements for terminology, the need to make the set of safety guides more systematic. The algorithms for calculating risk indicators and affected areas were refined, the most significant of which can be distinguished: taking into account the variable clutter at the location of the fuel-air mixtures cloud, proceeding from the modern ideas about the assessment of the explosion consequences; including in the calculation of explosion parameters a model of computational gas dynamics, as well as the model designed for numerical simulation in the ejection of the jet section of the flow; actualization of the parametric models for calculating the effects of shock wave propagation in a physical explosion. The main directions are proposed concerning further improvement of the methodological support of risk analysis at the hazardous production facilities.

**Keywords:** accident, analysis, methodology, industrial safety, risk, assessment, hazardous production facility.

**For citation:** Lisanov M.V., Agapov A.A., Zaynetdinov S.Kh., Sumskey S.I., Sofyin A.S. Updating Safety Guides in the Field of Accident Risk Assessment at the Production Facilities. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2023. № 7. pp. 85–92. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-7-85-92

### Введение

Нормативные правовые акты, разработанные в рамках «регуляторной гильотины» и вступившие в силу с 1 января 2021 г., положения «Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [1], а также опыт декларирования промышленной безопасности, разработки обоснований безопасности опасных производственных объектов и иных работ, связанных с анализом (оценкой) риска, потребовали внесения изменений в комплекс руководств по безопасности (РБ) Ростехнадзора, большинство из которых разработаны в период 2013–2018 гг.

В этих целях по согласованию с Ростехнадзором специалисты группы компаний «Промышленная безопасность» (ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», АНО «Агентство исследований промышленных рисков», Фонд поддержки научных исследований в области промышленной безопасности имени Якова Брюса) на общественных началах в 2020–2022 гг. подготовили и направили в Ростехнадзор новые редакции 13 РБ, которые утверждены в настоящее время [2–14].

Основные задачи изменений РБ: совершенствование комплекса методик анализа риска для разъяснения и детализации актуализированных требований промышленной безопасности в части анализа риска, исключения дублирования положений РБ, уточнения алгоритмов расчетов, критериев безопасности, снижение консервативности расчетных величин, учет возможности проведения детального компьютерного (математического) моделирования, актуализация имеющейся статистической информации (частот выброса опасных веществ), повышение точности физико-математических моделей аварийного выброса и оценки последствий аварий, в том числе с использованием современных методов численного моделирования (методов вычислительной гидродинамики).

При решении поставленной задачи учитывались предложения работников Ростехнадзора и специалистов, высказанные на заседаниях секции № 6 «Безопасность объектов нефтегазового комплекса» Научно-технического совета Ростехнадзора, на совещаниях рабочей группы по реализации механизма «регуляторной гильотины» в сфере промышленной безопасности Комитета Российского союза промышленников и предпринимателей и на различных семинарах, конференциях в 2020–2022 гг.

### Структура комплекса руководств по безопасности

Для целей систематизации разработанные РБ условно можно разделить на три группы:

общий, межотраслевой документ — РБ «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [2], включающее методологию анализа риска аварии, перечень основных методов и рекомендации по их применению, критерии поражения и разрушения при воздействии поражающих факторов аварии, данные по частоте выброса опасных веществ для типовых видов оборудования;

межотраслевые методики, учитывающие физико-химические закономерности аварийного процесса: выбросы и распространение (в том числе рассеивание) опасных веществ на технологических площадках [3], взрыв топливно-воздушных смесей (ТВС) [4] (параметрическая и одномерная гидродинамические модели взрыва ТВС), рассеяние и взрыв ТВС с учетом трехмерного пространства [5] (численное моделирование), устойчивость зданий и сооружений при внешних взрывах ТВС [6];

отраслевые методики оценки риска аварий на объектах: добычи нефти и газа на сухопутных объектах [7] и на объектах шельфа [8]; магистральных трубопроводах: нефтепроводы и нефтепродуктопроводы (стабильная жидкость) [9], газопроводы [10], конденсатопроводы и продуктопроводы [11], в том числе нестабильного конденсата, сжиженного углеводородного газа; переработки нефти и газа, химических производствах: объекты нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности [12], технологические трубопроводы газа [13] и опасных веществ в жидком виде [14].

Особенностью и трудностями разработки данного комплекса руководств являлась необходимость в некоторых случаях выполнения юридических требований по недопущению новых терминов в разделе терминов и определений не только в федеральных нормах и правилах, но и в РБ. В связи с этим определение наиболее важных терминов выполнялось в самом тексте документов (например, разъяснение понятий «сценарий аварии», «анализ риска аварии», «взрывоустойчивость») либо в разделе терминов, в котором приводились адекватные определения из смежных нормативных правовых документов (например, в [2] определение «взрыв» согласно ст. 2 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ<sup>1</sup> «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности») или из национальных стандартов («оценка риска аварии» в [8] согласно ГОСТ Р 51898—2002\* «Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты»).

<sup>1</sup> URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 12.05.2023).

\* URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030314> (дата обращения: 12.05.2023).

### Основные изменения в алгоритме оценки риска

К наиболее важным изменениям в математическом аппарате оценки риска актуализированных РБ следует отнести:

уточнение порядка расчета погибших и пострадавших, а также показателей риска для групп людей с учетом вариативности их присутствия в областях воздействия возможных аварий [2, 15], такое разбиение позволяет более детально рассмотреть распределение рисков между рискующими и убрать характерную для предыдущих версий РБ осредненность показателей риска;

обновление данных по частотам разгерметизации оборудования и трубопроводов, критериев термического и токсического поражения на основе анализа зарубежных данных [16–19] и представленных в общем РБ [2];

уточнение ряда деревьев событий, используемых в различных РБ, прежде всего с точки зрения унификации сценарной основы, терминов и структуры таких деревьев;

учет переменной загроможденности в месте расположения облака ТВС в [4], исходящий из современных представлений об оценке последствий взрыва [20–22]; согласно таким подходам при наличии в облаке области загромождения и области, лежащей на открытом пространстве, ударная волна (волна давления), генерируемая при сгорании этого облака, будет определяться энерговыделением, происшедшим в области загромождения; последующее же догорание частей облака, лежащих на открытой местности, практически не вносит вклада в интенсивность волн давления. Этот факт и отражен

в новой редакции РБ: при наличии части облака, лежащей на открытом пространстве и сгорающей в низкоскоростном режиме, в общем энерговыделении эта масса не учитывается;

включение в [4] модели вычислительной газодинамики для расчета параметров волн давления, генерируемых при взрыве ТВС (в одномерной постановке) [20], такой подход позволяет осуществлять более точное моделирование параметров волн давления, генерируемых при дефлаграции, в том числе с переменной скоростью фронта пламени;

включение в [3] модели, предназначенной для численного моделирования в выбросе струйного участка течения, что позволяет учитывать более интенсивное смешение опасного вещества; учет такого смешения позволяет снять консерватизм в оценке размеров зон поражения при распространении опасных веществ (протяженность зон достижения токсических и пожаровзрывоопасных концентраций, массы во взрывоопасных пределах);

гармонизацию параметрической модели взрыва ТВС с приложением 3 [23]. В новой модели существенно расширен диапазон расстояний от места взрыва, на которых могут быть проведены оценки параметров волны давления, что является важным для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений [6];

актуализацию в [10] параметрических моделей для расчета последствий распространения ударной волны при физическом взрыве [24, 25].

#### Сводная таблица изменений

Характеристика основных изменений РБ, связанных принципиальными положениями по анализу риска, представлена в таблице.

№	Руководство по безопасности	Основные изменения
1.	Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [2] (утв. приказом Ростехнадзора от 3 ноября 2022 г. № 387 вместо приказа Ростехнадзора от 11 марта 2016 г. № 144)	1. Уточнение расчета показателей риска для различных групп персонала и населения [15]. 2. Обновление данных по частотам разгерметизации оборудования и трубопроводов. 3. Обновление и систематизация критериев термического и токсического поражения. 4. Добавление в перечень рекомендуемых методов анализа мер безопасности (барьеров безопасности [26]) приложения № 8 [2] метода «слоев защиты» (LOPA — Layer of Protection Analysis) согласно ГОСТ Р МЭК 61511-3—2018* и др.
<b>Межотраслевые методики, учитывающие общие закономерности аварийного процесса</b>		
2.	Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» [3] (утв. приказом Ростехнадзора от 2 ноября 2022 г. № 385 вместо приказа Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158)	1. Уточнение расчета распространения облаков опасных веществ при наличии струевого истечения опасных веществ [27–29]. 2. Добавление рекомендаций по учету опасного вещества, поступающего к месту аварийной разгерметизации из смежного оборудования. 3. Добавление рекомендаций по расчету растекания пролива. 4. Актуализация примеров

\* Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160132> (дата обращения: 12.05.2023).

Продолжение табл.

№	Руководство по безопасности	Основные изменения
3.	Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» [4] (утв. приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 412 вместо приказа Ростехнадзора от 31 марта 2016 г. № 137)	1. Добавление рекомендаций по определению последствий взрывов облаков ТВС с учетом областей с различной загроможденностью пространства, в котором находится облако ТВС. 2. Гармонизация параметрической модели взрыва ТВС с приложением 3 [23]. В новой модели существенно расширен диапазон расстояний от места взрыва, на которых могут быть проведены оценки параметров волны давления, что является важным для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений [6]. 3. Включение гидродинамической модели для расчета параметров взрыва ТВС в одномерной постановке, что позволяет осуществлять более точное моделирование параметров волн давления, генерируемых при дефляции, в том числе с переменной скоростью фронта пламени [20]. 4. Актуализация примеров
4.	Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах» [5] (утв. приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 415 вместо приказа Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 160)	Исправление неточностей, опечаток
5.	Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» [6] (утв. приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 413 вместо приказа Ростехнадзора от 3 июня 2016 г. № 217)	Уточнение положений, в том числе: в п. 11 указаны методы расчета предельного давления падающей ударной волны $P_{пр}$ , на которое рассчитано здание — метод эквивалентных статических нагрузок, высокой точности с использованием диаграмм деформирования материалов или иных методов механической безопасности [26]; в п. 12 указано, что допускается увеличение величины предельно допустимой частоты разрушения зданий (т.е. более $10^{-4}$ год <sup>-1</sup> ), в которых исключено постоянное присутствие людей, при разработке обоснования безопасности опасного производственного объекта или в проектной документации
<b>Отраслевые методики. Добыча нефти и газа</b>		
6.	Руководство по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи» [7] (утв. приказом Ростехнадзора от 10 января 2023 г. № 4 вместо приказа Ростехнадзора от 17 августа 2015 г. № 317)	Уточнение ссылок на смежные РБ. Уточнение деревьев событий. Исправление неточностей, опечаток
7.	Руководство по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах морского нефтегазового комплекса» [8] (утв. приказом Ростехнадзора от 10 февраля 2023 г. № 51 вместо приказа Ростехнадзора от 16 сентября 2015 г. № 364)	Уточнение ссылок на смежные РБ. Уточнение деревьев событий. Исправление неточностей, опечаток
<b>Отраслевые методики. Магистральный транспорт опасных веществ</b>		
8.	Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» [9] (утв. приказом Ростехнадзора от 29 декабря 2022 г. № 478 вместо приказа Ростехнадзора от 17 июня 2016 г. № 228)	Уточнение ссылок на смежные РБ. Уточнение деревьев событий. Исправление неточностей, опечаток
9.	Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» [10] (утв. приказом Ростехнадзора от 22 декабря 2022 г. № 454 вместо приказа Ростехнадзора от 26 декабря 2018 г. № 647)	Уточнение ссылок на смежные РБ. Исправление неточностей, опечаток. Приложение № 13 дополнено методикой расчета давления на фронте ударной волны, возникающей за счет расширения природного газа (метана) при протяженных разрывах газопроводов [24], а также сосудов под давлением [25]

Окончание табл.

№	Руководство по безопасности	Основные изменения
10.	Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах» [11] (утв. приказом Ростехнадзора от 17 февраля 2023 г. № 69 вместо приказа Ростехнадзора от 30 марта 2020 г. № 139)	Уточнение ссылок на смежные РБ. Уточнение деревьев событий. Исправление неточностей, опечаток
<b>Отраслевые методики. Переработка нефти и газа, хранение опасных веществ</b>		
11.	Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» [12] (утв. приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 414 вместо приказа Ростехнадзора от 29 июня 2016 г. № 272)	Исключение положений, приведенных в других РБ. Уточнение ссылок на смежные РБ. Уточнение деревьев событий. Исправление неточностей, опечаток
12.	Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов» [13] (утв. приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 410 вместо приказа Ростехнадзора от 17 сентября 2015 г. № 365)	Исключение положений, приведенных в других РБ. Уточнение ссылок на смежные РБ. Исправление неточностей, опечаток
13.	Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей» [14] (утв. приказом Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 411 вместо приказа Ростехнадзора от 17 сентября 2015 г. № 366)	Исключение положений, приведенных в других РБ. Уточнение ссылок на смежные РБ. Исправление неточностей, опечаток

Анализ утвержденных РБ выявил необходимость разъяснения некоторых положений. Необходимые разъяснения и перечень опечаток представлены в соответствующих изданиях и сборниках РБ<sup>1</sup>, а также в статьях<sup>2</sup>.

#### Перспективы дальнейшего развития методического обеспечения анализа риска

В целях дальнейшего развития риск-ориентированного подхода и совершенствования методов анализа риска предлагаются следующие направления:

- разработка системы сбора и анализа данных по инцидентам и аварийности, в том числе на основе системы дистанционного контроля Ростехнадзора и СМИС<sup>3</sup> МЧС России, документов по классификации аварий и инцидентов;

- определение параметров и критериев размещения запорной арматуры для трубопроводных систем (с учетом опасности гидроудара);

- внедрение методов анализа мер безопасности, в том числе оценки эффективности барьеров безопасности («слоев защиты»);

- разработка положений по установлению критериев допустимого риска и обоснования минимальных безопасных расстояний для размещения опасных

- производственных объектов, в том числе критериев риска эскалации аварии (эффект домино) и учета ожидаемого ущерба от аварий;

- разработка методики численного моделирования разливов с учетом рельефа, кипения, испарения жидких опасных веществ, в том числе сжиженный природный газ;

- совершенствование методики обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений, в том числе с использованием результатов расчета взрывных нагрузок в методиках оценки механической безопасности на основе количественной оценки риска взрыва при внешних и внутренних взрывах ТВС;

- разработка и совершенствование отечественных компьютерных программ (баз данных по расчету последствий аварий и показателей риска) с учетом требований импортозамещения (в том числе по численному моделированию);

- разработка методических основ оценки риска выброса криогенных жидкостей (сжиженный природный газ, кислород, водород). Эти среды обладают специфическими характеристиками протекания аварийных процессов, связанными с низкой температурой их обращения (–162 °С и менее). При этом возникает ряд эффектов (интенсивное кипение, быстрый фазовый переход, захлаживание окружающей среды), которые на сегодня не в полной мере отражены в РБ.

#### Заключение

Выполнен обзор содержания и нововведений 13 руководств по безопасности, актуализированных по итогам изменений требований промышленной без-

<sup>1</sup> URL: <https://www.safety.ru/publishers> (дата обращения: 12.05.2023).

<sup>2</sup> URL: <https://btpnadzor.ru/archive> (дата обращения: 12.05.2023).

<sup>3</sup> СМИС — это структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений, состояния основания, строительных конструкций зданий и сооружений, технологических процессов, разрабатываемая по ГОСТ Р 22.1.12—2005.

опасности и практики анализа риска. Представлены изменения в указанных руководствах, связанные с юридическими требованиями к терминологии, необходимостью придания данному комплексу руководств по безопасности большей системности. Представлен анализ дополнений к моделированию аварийных процессов, анализу опасностей и расчету показателей риска, в том числе для снижения консервативности оценок риска.

Предложены основные направления по совершенствованию методического обеспечения анализа риска на опасных производственных объектах.

Выражаем признательность И.В. Наумовичу (АО «НИПИГАЗ») за консультации по вопросам нормативного обеспечения оценки риска за рубежом.

### Список литературы

1. *Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу*: Указ Президента Рос. Федерации от 6 мая 2018 г. № 198. URL: <https://docs.cntd.ru/document/557306107> (дата обращения: 30.05.2023).
2. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 нояб. 2022 г. № 387. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_433652/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433652/) (дата обращения: 30.05.2023).
3. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ»: приказ Ростехнадзора от 2 нояб. 2022 г. № 385. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/rukovodstva-po-bezopasnosti/30.%20%D0%9F%D1%80-385%20%D0%BE%D1%82%2002.11.2022.pdf> (дата обращения: 30.05.2023).
4. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 412. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_437335/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_437335/) (дата обращения: 30.05.2023).
5. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 415. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-28.11.2022-N-415/> (дата обращения: 30.05.2023).
6. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 413. URL: <https://lawnotes.ru/nra/prikaz-rostehnadzora-ot-28.11.2022-n-413> (дата обращения: 30.05.2023).
7. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи»: приказ Ростехнадзора от 10 янв. 2023 г. № 4. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_440765/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440765/) (дата обращения: 30.05.2023).
8. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах морского нефтегазового комплекса»: приказ Ростехнадзора от 10 февр. 2023 г. № 51. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_440212/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440212/) (дата обращения: 30.05.2023).
9. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов»: приказ Ростехнадзора от 29 дек. 2022 г. № 478. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_440799/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440799/) (дата обращения: 30.05.2023).
10. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа»: приказ Ростехнадзора от 29 дек. 2022 г. № 454. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-22.12.2022-N-454/> (дата обращения: 30.05.2023).
11. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах»: приказ Ростехнадзора от 17 февр. 2023 г. № 69. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-17.02.2023-N-69/> (дата обращения: 30.05.2023).
12. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 414. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-414%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf> (дата обращения: 30.05.2023).
13. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 410. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-28.11.2022-N-410/> (дата обращения: 30.05.2023).
14. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 411. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/rukovodstva-po-bezopasnosti/%D0%9F%D1%80-411%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf> (дата обращения: 30.05.2023).
15. *Софьин А.С., Сумской С.И.* Расчет показателей риска поражения людей с учетом вариативности их присутствия в областях воздействия аварийных процессов на опасных производственных объектах// *Безопасность труда в промышленности.* 2022. № 6. С. 81–89. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-81-89
16. *IOGP. Report 434-01 — Risk assessment data directory — Process release frequencies.* URL: <https://www.safetydelta.nl/kenniscentrum/iogp-report-434-01-risk-assessment-data-directory-process-release-frequencies/> (дата обращения: 30.05.2023).
17. *Failure Frequency Guidance: Process Equipment Leak Frequency Data for Use in QRA.* URL: <http://issuu.com/>

dnv.com/docs/failure\_frequency\_guidance\_process (дата обращения: 30.05.2023).

18. *Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments* (28/6/2012). URL: <https://pdf4pro.com/view/failure-rate-and-event-data-for-use-within-risk-assessments-537bc2.html> (дата обращения: 30.05.2023).

19. *Crerand A., Chynoweth S., Richardson S. Improvement in Release Frequencies for Quantitative Risk Assessment// 24th Institution of Chemical Engineers Symposium on Hazards*. Red Hook: Curran Associates, 2014. P. 621–625.

20. *Моделирование волн давления при дефлаграционном горении облаков топливно-воздушных смесей/ С.И. Сумской, С.Х. Зайнетдинов, А.С. Софьин и др.// Безопасность труда в промышленности*. 2023. № 1. С. 15–22. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-1-15-22

21. *Van den Bosch C.J.H., Weterings R.A.P.M. Methods for the calculations of physical effects. Due to releases of hazardous materials (liquids and gases). «Yellow Book». CPR 14E*. URL: <https://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffen.nl/documents/PGS2/PGS2-1997-v0.1-physical-effects.pdf> (дата обращения: 30.05.2023).

22. *Van den Berg A.C. The multi-energy method: A framework for vapour cloud explosion blast prediction// Journal of Hazardous Materials*. 1985. Vol. 12. Iss. 1. P. 1–10.

23. *Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»:* приказ Ростехнадзора от 15 дек. 2020 г. № 533. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573200380> (дата обращения: 30.05.2023).

24. *Оценка параметров ударных волн при разрушении морских и сухопутных участков магистральных газопроводов/ С.И. Сумской, С.Х. Зайнетдинов, А.С. Софьин и др.// Научно-технический сборник «Вести газовой науки»*. 2020. № 3 (45). С. 72–80.

25. *СТО Газпром 2-2.3-351—2009*. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». URL: <https://pozhproekt.ru/nsis/Rd/sto/sto-gazprom/sto-2-2.3-351-2009/1.pdf> (дата обращения: 30.05.2023).

26. *Подходы к качественной оценке состояния барьеров безопасности на объектах нефтегазовой отрасли/ В.Д. Бархатов, Е.В. Зайцева, М.В. Лисанов, И.С. Жуков// Безопасность труда в промышленности*. 2022. № 12. С. 55–62. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-12-55-62

27. *Ooms G. A new method for the calculation of the plume path of gases emitted by a stack// Atmospheric Environment*. 1967. Vol. 6. Iss. 12. P. 899–909. DOI: 10.1016/0004-6981(72)90098-4

28. *Теория турбулентных струй/ под ред. Г.Н. Абрамовича*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1984. 712 с.

29. *Бруяцкий Е.В. Турбулентные стратифицированные струйные течения*. Киев: Наукова думка, 1986. 296 с.

## References

1. On the fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of industrial safety for the period up to 2025 and beyond: Decree of the President of the Russian Federation

of May 6, 2018 № 198. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/557306107> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

2. On approval of the Safety Guide «Methodological basis for hazard analysis and accident risk assessment at hazardous production facilities»: Order of Rostekhnadzor dated November 3, 2022 № 387. Available at: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_433652/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433652/) (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

3. On approval of the Safety Guide «Methodology for modeling the spread of accidental releases of hazardous substances»: Order of Rostekhnadzor dated November 2, 2022 № 385. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/rukovodstva-po-bezopasnosti/30.%20%D0%9F%D1%80-385%20%D0%BE%D1%82%2002.11.2022.pdf> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

4. On approval of the Safety Guide «Methodology for assessing the consequences of accidental explosions of fuel-air mixtures»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 412. Available at: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_437335/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_437335/) (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

5. On approval of the Safety Guide «Methodology for assessing the consequences of accidents at explosive and fire hazardous chemical plants»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 415. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-28.11.2022-N-415/> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

6. On approval of the Safety Guide «Methods for substantiating the explosion resistance of buildings and structures during explosions of fuel-air mixtures at hazardous production facilities»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 413. Available at: <https://lawnotes.ru/npa/prikaz-rostekhnadzora-ot-28.11.2022-n-413> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

7. On approval of the Safety Guide «Methodology for analyzing the risk of accidents at hazardous oil and gas production facilities»: Order of Rostekhnadzor dated January 10, 2023 № 4. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_440765/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440765/) (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

8. On approval of the Safety Guide «Methodology for analyzing the risk of accidents at hazardous production facilities of the offshore oil and gas complex»: Order of Rostekhnadzor dated February 10, 2023 № 51. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_440212/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440212/) (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

9. On approval of the Safety Guide «Methodological recommendations for conducting a quantitative analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities of the main oil pipelines and oil product pipelines»: Order of Rostekhnadzor dated December 29, 2022 № 478. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_440799/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440799/) (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

10. On approval of the Safety Guide «Methodology for assessing the risk of accidents at hazardous production facilities of the main gas pipeline transport»: Order of Rostekhnadzor dated December 29, 2022 № 454. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-22.12.2022-N-454/> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

11. On approval of the Safety Guide «Methodological recommendations for conducting a quantitative analysis of the risk of accidents at the condensate pipelines and product pipelines»: Order of

Rostekhnadzor dated February 17, 2023 № 69. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-17.02.2023-N-69/> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

12. On approval of the Safety Guide «Methodology for assessing the risk of accidents at hazardous production facilities of the oil and gas processing, oil and gas chemical industry»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 414. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-414%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

13. On approval of the Safety Guide «Methodology for assessing the risk of accidents on technological pipelines associated with the movement of explosive gases»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 410. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-28.11.2022-N-410/> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

14. On approval of the Safety Guide «Methodology for assessing the risk of accidents on the process pipelines associated with the movement of explosive and flammable liquids»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 411. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/rukovodstva-po-bezopasnosti/%D0%9F%D1%80-411%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

15. Sofyin A.S., Sumskey S.I. Calculation of the Indicators of the Risk of People Damage Considering the Variability of Their Presence in the Areas of Emergency Processes Impact at Hazardous Production Facilities. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2022. № 6. pp. 81–89. (In Russ). DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-81-89

16. IOGP Report 434-01 — Risk assessment data directory — Process release frequencies. Available at: <https://www.safetydelta.nl/kenniscentrum/iogp-report-434-01-risk-assessment-data-directory-process-release-frequencies/> (accessed: May 30, 2023).

17. Failure Frequency Guidance: Process Equipment Leak Frequency Data for Use in QRA. Available at: [http://issuu.com/dnv.com/docs/failure\\_frequency\\_guidance\\_process](http://issuu.com/dnv.com/docs/failure_frequency_guidance_process) (accessed: May 30, 2023).

18. Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/6/2012). Available at: <https://pdf4pro.com/view/failure-rate-and-event-data-for-use-within-risk-assessments-537bc2.html> (accessed: May 30, 2023).

19. Crerand A., Chynoweth S., Richardson S. Improvement in Release Frequencies for Quantitative Risk Assessment. 24th Institution of Chemical Engineers Symposium on Hazards. Red Hook: Curran Associates, 2014. pp. 621–625.

20. Sumskey S.I., Zaynetdinov S.Kh., Sofyin A.S., Lisano M.V., Agapov A.A. Simulation of Pressure Waves During

Deflagration Combustion of the Clouds of Fuel-Air Mixtures. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2023. № 1. pp. 15–22. (In Russ). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-1-15-22

21. Van den Bosch C.J.H., Weterings R.A.P.M. Methods for the calculations of physical effects. Due to releases of hazardous materials (liquids and gases). «Yellow Book». CPR 14E. Available at: <https://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffen.nl/documents/PGS2/PGS2-1997-v0.1-physical-effects.pdf> (accessed: May 30, 2023).

22. Van den Berg A.C. The multi-energy method: A framework for vapour cloud explosion blast prediction. *Journal of Hazardous Materials*. 1985. Vol. 12. Iss. 1. pp. 1–10.

23. On approval of the Federal norms and rules in the field of industrial safety «General rules of explosion safety for fire and explosion hazardous chemical, petrochemical and oil refining industries»: Order of Rostekhnadzor dated December 15, 2020 № 533. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573200380> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

24. Sumskey S.I., Zaynetdinov S.Kh., Sofyin A.S., Lisano M.V., Agapov A.A. Assessment of shock wave parameters at rapture of onshore and offshore sections of gas mains. *Nauchno-tehnicheskii sbornik «Vesti gazovoy nauki» = Scientific Technical Collection Book «Gas Science Bulletin»*. 2020. № 3 (45). pp. 72–80. (In Russ).

25. STO Gazprom 2-2.3-351—2009. Methodological guidelines on conducting risk analysis for hazardous production facilities of gas transmission enterprises of OAO Gazprom. Available at: <https://pozhproukt.ru/nsis/Rd/sto/sto-gazprom/sto-2-2.3-351-2009/1.pdf> (accessed: May 30, 2023). (In Russ).

26. Barkhatov V.D., Zaytseva E.V., Lisano M.V., Zhukov I.S. Approaches to the Qualitative Assessment of the Safety Barriers Performance at Oil and Gas Facilities. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2022. № 12. pp. 55–62. (In Russ). DOI: 10.24000/0409-2961-2022-12-55-62

27. Ooms G. A new method for the calculation of the plume path of gases emitted by a stack. *Atmospheric Environment*. 1967. Vol. 6. Iss. 12. pp. 899–909. DOI: 10.1016/0004-6981(72)90098-4

28. Abramovich G.N. Theory of turbulent jets. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Nauka, 1984. 712 p. (In Russ).

29. Bruyatskiy E.V. Turbulent stratified jet streams. Kyiv: Naukova dumka, 1986. 296 p. (In Russ).

**E-mail: risk@safety.ru**

*Материал поступил в редакцию/ Received 01.06.2023*

*После рецензирования/ Revised 06.06.2023*

*Принят к публикации/ Accepted 29.06.2023*

## ПАМЯТКА АВТОРУ

- Статья должна в обязательном порядке иметь реферат, ключевые слова и список литературы.
- Реферат к статье (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен достаточно полно раскрывать ее содержание (но не быть калькой с русскоязычной аннотации), иметь объем в среднем 1800–2000 символов. Реферат должен быть переведен на английский язык.