

Научная статья
УДК 681.5
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-3-22-29>

Управление рисками аварийных ситуаций на опасном производственном объекте (установка каталитического риформинга)

*Денис Валерьевич Немчинов, Алена Николаевна Селиверстова[✉],
Анна Леонидовна Немчинова*

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, a.n.seliverstova@yandex.ru[✉]*

Аннотация. Рассматривается задача снижения рисков развития аварийных ситуаций и повышения надежности эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО) нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности и объектов нефтепродуктообеспечения. Анализ промышленной безопасности в данном секторе промышленности и количественные значения динамики аварийности на ОПО позволили определить основные причины возникновения аварийных ситуаций. Для объекта исследования – установки каталитического риформинга – был проведен сравнительный анализ методов и технологий оценки риска аварийных ситуаций, с предварительной классификацией критериев оценивания каждой технологии по ряду характеристик, определяющих цели и границы ее использования, временного диапазона, уровня исходной информации и пр. В результате анализа определено наиболее эффективное решение с учетом сильных сторон и возможных ограничений применения для рассматриваемого объекта исследования. На основе предложенного решения сформирована структура управления рисками аварийных ситуаций на рассматриваемом ОПО, функционирование которой направлено на снижение аварийности и обеспечение промышленной безопасности в рамках установленных норм и правил.

Ключевые слова: установка каталитического риформинга, опасный производственный объект, риск, анализ риска, методы и технологии оценки риска, аварийная ситуация

Для цитирования: Немчинов Д. В., Селиверстова А. Н., Немчинова А. Л. Управление рисками аварийных ситуаций на опасном производственном объекте (установка каталитического риформинга) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 3. С. 22–29. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-3-22-29>.

Original article

Emergency risk management at hazardous production facility (catalytic reforming unit)

Denis V. Nemchinov, Alena N. Seliverstova[✉], Anna L. Nemchinova

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, a.n.seliverstova@yandex.ru[✉]*

Abstract. The article considers the problem of reducing the risks of emergency situations and increasing the reliability of operation of hazardous production facilities (HPOs) of the petrochemical and oil and gas processing industries and oil products supply facilities. Analysis of industrial safety in this industry and quantitative values of the dynamics of accidents at HPOs made it possible to determine the main causes of emergencies. For the object of study (a catalytic reforming unit) there was conducted a comparative analysis of methods and technologies for assessing the risk of accidents, with a preliminary classification of evaluation criteria for each technology according to a number of characteristics that determine the goals and boundaries of its use, the time range, the level of initial information, etc. As a result of the analysis there has been defined a most effective solution, taking into account the strengths and possible limitations for the object of study. On the basis of the proposed solution an emergency risk management structure at the HPF under consideration was developed, functioning of which aims reducing the accident rate and ensuring industrial safety within the established norms and rules.

Keywords: catalytic reforming unit, hazardous production facility, risk, risk analysis, risk assessment methods and technologies, emergency situation

For citation: Nemchinov D. V, Seliverstova A. N., Nemchinova A. L. Emergency risk management at hazardous production facility (catalytic reforming unit). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2022;3:22-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-3-22-29>.

Введение

В России одной из экономически значимых составляющих топливно-энергетического комплекса является нефтегазоперерабатывающая промышленность. Продукты переработки нефти и газа применяются в различных сферах жизни современного человека – от бытового использования в повседневной жизни до высокотехнологичных разработок в ведущих отраслях науки и производства. Однако деятельность нефтегазоперерабатывающей промышленности имеет оборотную сторону – нередкие аварии, ведущие к «внезапному разрушению оборудования, технических устройств и транспортных средств, зданий и сооружений, взрыву или выбросу опасных веществ, нарушению технологических или иных производственных процессов, включая движение автотранспорта, плавательных средств, летательных аппаратов, железнодорожного подвижного состава» [1, с. 2]. Подобные аварии наносят экономический урон предприятиям, создают масштабные экологические проблемы и могут нанести непоправимый вред здоровью и жизни обслуживающего персонала и местного населения, поэтому крайне важен вопрос обеспечения промышленной безопасности на различных типах и классах опасных производственных объектов (ОПО) нефтегазоперерабатывающей промышленности.

Анализ аварийности на опасных производственных объектах и задачи исследования

На территории Российской Федерации контроль и надзор за соблюдением норм и требований

в области промышленной безопасности на объектах нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности осуществляет Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). В общей сложности под надзор попадают 4 114 ОПО, классифицированных по классам опасности.

Установка каталитического риформинга выступает объектом исследования. Дебутанизированный катализатор с октановым числом не менее 92 по исследовательскому методу является продуктом каталитического риформинга и в дальнейшем служит сырьем блока выделения бензолной фракции [2]. Данная установка рассчитана на мощность до 1 млн т/г. по сырью и была введена в эксплуатацию в 1988 г. на Астраханском газоперерабатывающем заводе, относится к ОПО III класса опасности.

Согласно данным, представленным в годовом отчете Ростехнадзора за 2020 г., на ОПО нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности произошло 9 аварий. Количество аварий сократилось в сравнении с 2019 г. в 2 раза, однако экономический ущерб, нанесенный предприятиям, увеличился в 3,3 раза и составил 5 466 038 тыс. руб. [3].

Не менее важная цифра была озвучена Ростехнадзором по итогам анализа промышленной безопасности за 2020 г. – количество исходов смертельного травматизма – 2 случая, и это в 4 раза меньше, чем за предыдущий 2019 г. Динамика аварийности и смертельного травматизма на ОПО нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности за последние 10 лет до 2020 г. представлена на рис. 1 [3].

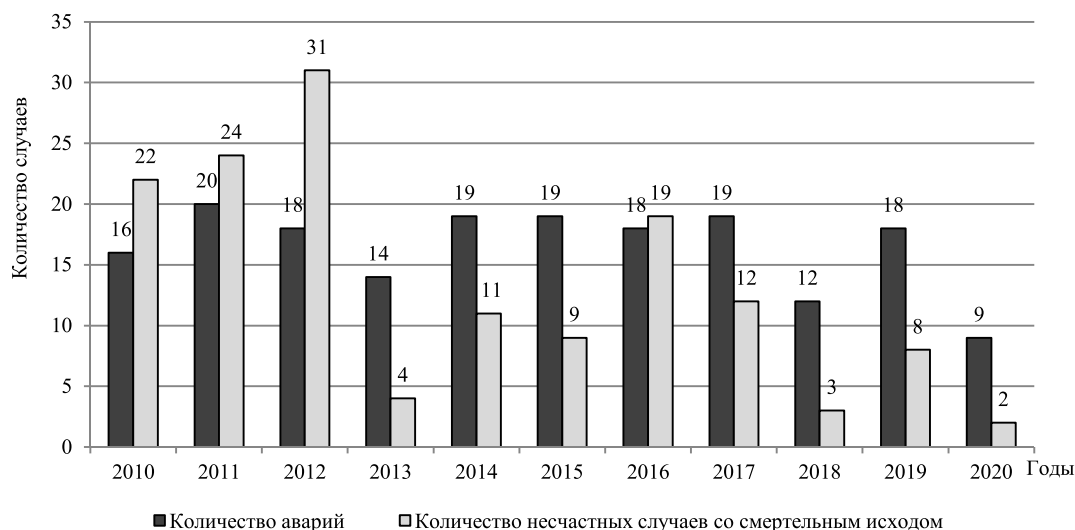


Рис. 1. Динамика аварийности и смертельных случаев на ОПО за 2010–2020 гг.

Fig. 1. Dynamics of emergency situations and deaths at HPFs in 2010-2020

Аварии на ОПО могут носить различный характер и быть связаны с возгораниями, пожарами, взрывами на технологических участках производ-

ства или выбросом опасных веществ в атмосферу, почву и воду (рис. 2).

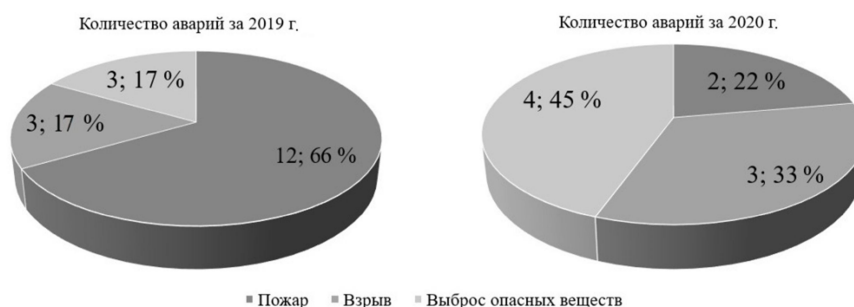


Рис. 2. Распределение аварий на ОПО по их видам в 2019–2020 гг.

Fig. 2. Distribution of accidents at HPFs by type in 2019-2020

Было выявлено, что в 2020 г. в 6 случаях (67 %) аварии произошли из-за разгерметизации и разрушения технологического оборудования, на что оказали влияние внутренние опасные факторы, а в 3 случаях (33 %) к авариям привели нарушения норм ведения технологического процесса, пренебрежение требованиями организации и проведения газоопасных, огневых, ремонтных работ из-за ошибок или халатности персонала. Так, например, на ОПО «Топливное хозяйство ТЭЦ-3» АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» в 2020 г. произошла крупнейшая по экономическому ущербу (4 702,171 млн руб.) авария, технической причиной которой стало нарушение целостности резервуара для хранения нефтепродуктов с последующим их истечением за пределы резервуарного парка. Недостаточная заложенная при проектировании несущая способность плитного ростверка основания и железобетонных свай привела к разгерметизации сооружения. Пострадавших в результате данной аварии не было.

В результате другой наиболее частой причины аварий – ошибочных действий персонала, ведущих к нарушению ведения технологического процесса, и пренебрежения требованиями организации и проведения газоопасных, огневых, ремонтных работ – произошел крупный по экономическому ущербу (1 463 тыс. руб.) для ОПО Склад ГСМ ТСУ-2 филиала «Находкинский» КГУП «Примтеплоэнерго» инцидент. Его причиной стал неконтролируемый выброс нефтепродукта из резервуара за пределы обвалования резервуарного парка вследствие нарушения технологического процесса хранения нефтепродукта. Эта авария также обошлась без жертв.

Анализ всех произошедших в 2020 г. аварий позволил выделить типичные нарушения требований в области промышленной безопасности, а именно:

- отсутствие, неудовлетворительное состояние или устаревание систем управления технологическими процессами, сигнализации и противоаварийной автоматической защиты;
- низкий уровень организации и проведения

работ по техническому обслуживанию и ремонту технологического оборудования, зданий и сооружений, в том числе работ повышенной опасности;

- несвоевременное проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств с последующей их эксплуатацией при отклонении установленных регламентом на производственное оборудование параметров ведения технологических процессов;

- отсутствие и/или пропуск регулярной проверки знаний инженерно-технического (оперативного) персонала и руководящего состава в области промышленной безопасности;

- низкий уровень качества ведения и оформления эксплуатационной и иной документации (акты проведения плановых и внеплановых ремонтов и испытаний);

- неудовлетворительная организация и осуществление производственного контроля за соблюдением норм и требований промышленной безопасности на ОПО [3].

В этой связи для снижения рисков аварийных ситуаций на установке каталитического риформинга крайне важно провести исследование и сравнительный анализ методов и технологий оценки риска развития аварий на ОПО, определить наиболее подходящую технологию и разработать структуру управления рисками аварийных ситуаций для рассматриваемого объекта исследования.

Исследование технологий оценки рисков и выбор технологии для объекта исследования

Методы и технологии оценки риска развития аварийных ситуаций на производственных объектах рассчитаны на выявление факторов и первопричин, ведущих к развитию аварий на производстве, с учетом их природы и степени воздействия, и оценивание связанного с ними риска для принятия обоснованных и эффективных решений и действий с целью предотвращения или управления аварийной ситуацией. Рассматриваемые в рамках

исследования технологии применяются для решения следующих задач:

- идентификация рисков;
- выявление факторов риска и его первопричин, определение степени влияния на них;
- исследование общей эффективности управления и оценка эффекта предполагаемых методов обработки риска;
- исследование последствий, вероятности и риска аварийных ситуаций;
- анализ взаимодействия и зависимости.

На выбор применяемых технологий и способа их использования влияет ряд параметров, среди которых можно выделить возможность адаптации технологии к конкретному процессу и область ее применения, возможность получать и передавать необходимую информацию заинтересованным лицам (например, лицу, принимающему решения). Кроме того, количество и тип выбранных технологий определяются значимостью принимаемого решения с учетом ограничений во времени и других ресурсов, возможных издержек. Также принятие решения о подходящей технологии, которая может быть качественной или количественной, зависит от достоверности, качества и объема предоставляемой информации и данных о процессе и сопровождающих его рисках.

Часто для оценки рисков развития аварийных

ситуаций на конкретном объекте или процессе применяется не одна, а несколько технологий. Этот набор может быть применен к рассматриваемому объекту или процессу одновременно, или технологии могут стать применимыми постепенно, по мере получения требуемой исходной информации.

Таким образом, можно провести сравнительный анализ существующих технологий оценки риска развития аварийных ситуаций, предварительно выделив ряд критериев, лежащих в его основе:

- цель применения;
- потребности заинтересованных лиц;
- нормативные требования или условия, установленные контрактом;
- условия применения технологии и сценарий ее реализации;
- уровень важности принимаемого решения;
- установленные критерии и рамки принятия решений;
- длительность принятия решения;
- доступность требуемой информации;
- сложность ситуации;
- имеющийся или требуемый уровень компетентности эксперта в вопросах оценки рисков [4].

В табл. 1 представлены критерии, по которым проводился анализ технологий, их описание и характеристики.

Таблица 1

Table 1

Критерии анализа технологий оценки рисков
Criteria for the analysis of risk assessment technologies

Критерий	Описание	Характеристика
Цель применения	Конечный результат, для достижения которого применима рассматриваемая технология	Идентификация риска Анализ источников и факторов риска Анализ зависимостей и взаимодействий Выявление мнения экспертов и причастных сторон Выбор между вариантами и др.
Границы применения	Структурный уровень в организации предприятия, в рамках которого будет производиться оценка риска	Производство Участок производства/цех Технологический процесс/ технологическое оборудование
Временной диапазон	Временной промежуток, для которого оценивается влияние рисков на развитие аварийной ситуации.	Долгосрочный Среднесрочный Краткосрочный
Уровень принятия решений	Степень в организационной модели менеджмента предприятия, на которой принимаются управленческие решения	Стратегический Операционный Тактический
Исходная информация/ исходные данные	Объем и качество входной информации или данных, требующих проведения оценки рисков	Высокая Средняя Низкая
Экспертный уровень	Степень компетентности и уровень экспертных знаний, требуемые для корректного использования технологии	Высокий Средний Низкий
Тип технологии	Характер подхода, применяемого в технологии, в зависимости от вида представления исходной информации/данных (числовая или описательная)	Количественная Качественная Полуколичественная Качественно-количественная
Усилия по применению	Объем ресурсов (временных, материальных, человеческих), требуемый для применения технологии	Высокие Средние Низкие

Фрагмент проведенного сравнительного анализа технологий оценки риска представлен в табл. 2.

Немчинов Д. В., Селиверстова А. Н., Немчинова А. Л. Управление рисками аварийных ситуаций на опасном производственном объекте (установка каталитического риформинга)

Таблица 2

Table 2

Фрагмент сравнения технологий оценки риска
Fragment of comparison of risk assessment technologies

Технология	Описание технологии	Цель применения	Границы применения	Временной диапазон	Уровень принятия решений	Исходная информация/ данные	Экспертный уровень	Тип технологии	Условия по применению
Контрольные списки	Перечень опасностей, рисков и сбоев в управлении, который составляется на основе имеющегося экспертного опыта, результатов предшествующей оценки рисков или результатов ранее случившихся сбоев или отказов	Идентификация рисков	Участок производства / цех	Любой	Любой	Высокая / низкая	Низкий / средний	Качественная	Низкие / средние
	Методы системного анализа объекта, заключающиеся в разложении системы или процесса на элементы, выделении на каждом из них возможных отказов, определении причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных последствий этих отказов в рамках пер-вой технологии. Далее проводится качественная оценка и ранжирование отказов по тяжести их последствий с применением второй технологии					Определяется условиями применения	Средний	Количественная/ качественная	Низкие / высокие
Анализ видов и послед-ствий отказов и анализ видов, последствий и критично-сти отказов	Процедура оценки рисков, сочетающая в себе два подхода – анализ дерева отказов и дерева событий – и заключающаяся в рассмотрении первопричин и последствий воз-никшего аварийного события с учетом временных задержек	Анализ причин и последствий аварийных ситуаций	Технологический процесс / технологическое оборудование	Любой	Операционный / Тактический	Средняя / высокая	Средний / высокий	Количественная	Средние / высокие
Анализ причинно-следственных связей	Метод, направленный на оценку влияния инженерно-технического персонала на надежность и безопасность системы или процесса и заключающийся в определении и анализе вероятности ошибок и неадекватных действий челове-ка, ведущих к развитию аварийной ситуации	Анализ риска и источников риска				Средняя	Высокий	Количественная/ качественная	Средние / высокие

Было определено, что наиболее предпочтительной технологией оценки риска развития аварийных ситуаций для обеспечения промышленной безопасности на установке каталитического риформинга является комбинация двух технологий – анализа причинно-следственных связей и анализа надежности человека.

Технология «Анализ причинно-следственных связей» является усовершенствованной версией технологий анализа дерева отказов и анализа дерева событий и позволяет представлять логику отказа/сбоя, который может привести к критическому событию, т. е. к развитию аварии. При этом анализируются все дальнейшие пути развития состояния системы после критического события в зависимости от того, как поведут себя отдельные подсистемы. Проведенный анализ причинно-следственных связей в системе позволяет получить количественную оценку вероятности различных возможных последствий. Зная то, каким образом работает система, режимы отказов системы и их сценарии, можно получить схематическое представление причин и последствий критического события в системе, оценить вероятность появления того или иного последствия с учетом возникновения комбинации конкретных условий, его вызывающих.

Технология «Анализ надежности человека» позволяет оценить вклад человека в надежность и безопасность системы, выявить и проанализировать возможности совершения неправильных дей-

ствий рабочим персоналом. Требуется определение шагов и подэтапов деятельности человека в рассматриваемой технической системе для осуществления иерархического анализа и идентификации всех возможных потенциальных механизмов и источников ошибок в этой деятельности. Также необходимо выделить все факторы, имеющие связь с самим человеком, производством и окружающей средой. В результате получаем качественную и/или количественную оценку риска человеческих действий в условиях аварийной ситуации, список ошибок и их причин, последствия их наступления для человека и системы в целом.

Объект исследования – установка каталитического риформинга – является человеко-машинной системой, в которой органично объединены функции человека-оператора и работа производственного оборудования. Рассмотрение только одной стороны функционирования – технической или человеческой – не дает всей картины причинно-следственных связей в процессе развития аварийных ситуаций на ОПО, поэтому требуется комплексный анализ установки в целом для оценки ее надежности и вероятности рисков отказов или сбоев.

Структура управления рисками аварийных ситуаций на ОПО

На рис. 3 приведена структура управления рисками аварийных ситуаций на установке каталитического риформинга.

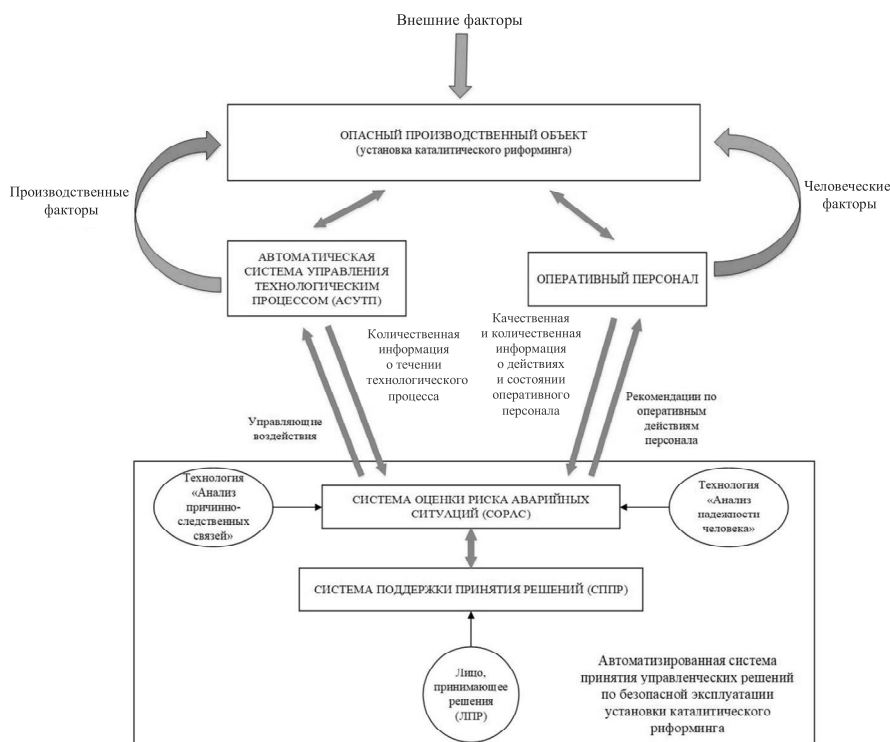


Рис. 3. Структура управления рисками аварийных ситуаций на ОПО

Fig. 3. Structure of risk management of emergency situations at HPPs

Снижение количества аварий на рассматриваемом производственном объекте или полное исключение их возникновения будет обеспечивать автоматизированная система принятия управленческих решений по безопасной эксплуатации установки каталитического риформинга. В состав данной системы входят две подсистемы – система поддержки принятия решений с учетом экспертного мнения лица, принимающего решения, и система оценки риска аварийных ситуаций, определяющая вероятность и причины риска развития аварии на основе предлагаемых к совместному применению технологий «Анализ причинно-следственных связей» и «Анализ надежности человека».

Заключение

Для достижения поставленной цели исследования на рассматриваемом объекте – снижение рисков развития аварийных ситуаций на установке каталитического риформинга – был проведен сравнительный анализ технологий оценки риска и предложены к совместному использованию две

технологии, описанные выше, с учетом их сильных сторон и ограничений в применении (см. табл. 2) – анализ причинно-следственных связей и анализ надежности человека. Предполагается, что такой подход позволяет всестороннее исследовать человеко-машинную систему и осуществить идентификацию и анализ риска аварии до развития ее состояния до необратимого, определить потенциальные возможности снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих воздействий; предложена структура управления рисками на ОПО. Построение системы управления рисками основано на разработке и реализации автоматизированной системы принятия управленческих решений по безопасной эксплуатации установки каталитического риформинга, в основе алгоритма которой предложенные методы оценки риска аварийных ситуаций на производственном объекте для выдачи рекомендаций по исполнению соответствующих мероприятий лицом, принимающим решения, и оперативным персоналом в условиях риска.

Список источников

1. *ГОСТ 12.3.002-2014*. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности. Введен 01.07.2016. М.: Стандартинформ, 2016. 15 с.
2. *Изменение № 1* к технологическому регламенту установки каталитического риформинга У-1.734, 3418-ТР У-1.734. Введено 2015-12-17. Астрахань: ООО «Газпром добыча Астрахань», 2015. 450 с.
3. *Годовой отчет* о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. М., 2021. 369 с. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf (дата обращения: 13.05.2022).

4. *ГОСТ Р 58771-2019*. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. Введ. 05.10.2015. М.: Стандартинформ, 2020. 90 с.
5. *Немчинов Д. В., Проталинский О. М.* Снижение риска аварийной ситуации на производственном объекте // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 1. С. 111–116.

References

1. *GOST 12.3.002-2014. Sistema standartov bezopasnosti truda. Protsessy proizvodstvennye. Obshchie trebovaniia bezopasnosti. Vveden 01.07.2016* [GOST 12.3.002-2014. System of labor safety standards. Manufacturing processes. General safety requirements. Introduced on 07/01/2016]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 15 p.
2. *Izmenenie № 1 k tekhnologicheskomu reglamentu ustanovki kataliticheskogo riforminga U-1.734, 3418-TR U-1.734. Vvedeno 2015-12-17* [Amendment No. 1 to the technological regulations of the catalytic reforming unit U-1.734, 3418-TR U-1.734. Entered 2015-12-17]. Astrakhan, ООО «Gazprom dobycha Astrakhan», 2015. 450 p.
3. *Godovoi otchet o deiatel'nosti federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu* [Annual report on activities of federal service for environmental, technological and nuclear supervision in 2020]. Moscow, 2021. 369 p. Available at: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf (accessed: 13.05.2022).

4. *GOST R 58771-2019. Menedzhment riska. Tekhnologii otsenki riska. Vveden 05.10.2015* [GOST R 58771-2019. Risk management. Risk assessment technologies. Entered 05.10.2015]. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 90 p.
5. *Nemchinov D. V., Protalinskii O. M. Snizhenie riska avariinoi situatsii na proizvodstvennom ob'ekte* [Reduction of emergency risk on a production object]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seria: Upravlenie, vychislitel'naiia tekhnika i informatika*, 2009, no. 1, pp. 111-116..

Информация об авторах / Information about the authors

Денис Валерьевич Немчинов – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; dnem@yandex.ru

Алена Николаевна Селиверстова – аспирант кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; a.n.seliverstova@yandex.ru

Анна Леонидовна Немчинова – кандидат философских наук, доцент; доцент кафедры гуманитарных наук и психологии; Астраханский государственный технический университет; nemchinova.astu@yandex.ru

Denis V. Nemchinov – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; dnem@yandex.ru

Alena N. Seliverstova – Postgraduate Student of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; a.n.seliverstova@yandex.ru

Anna L. Nemchinova – Candidate of Philosophical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Humanities Science and Psychology; Astrakhan State Technical University; nemchinova.astu@yandex.ru

