

## Об оценке состояния комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России

Евгений Владимирович Гвоздев✉

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье представлено описание выбора метода анализа иерархий и попарных сравнений (далее — МАИ), ставшего основой содержания методики оценки комплексной безопасности предприятия, применение которой обеспечивает преобразование входной информации, поступающей в виде характеристического описания оцениваемого мероприятия в выходной результат оценки, имеющий весовое численное значение.

**Цели и задачи.** Основная цель статьи — получить результат оцениваемых мероприятий, входящих в содержание чек-листов (листов контроля), так и по пожарной безопасности, относящихся к комплексной безопасности предприятия. На основе попарного сравнения факторов и альтернатив с помощью выбранного МАИ представляется возможность определить для каждого исследуемого элемента показатели локальных и глобальных приоритетов. Весовые коэффициенты, полученные в виде локальных приоритетов, относятся к проверяемым мероприятиям, а глобальные приоритеты имеют непосредственное отношение к службам (структурным подразделениям), обеспечивающим устойчивое функционирование комплексной безопасности предприятия.

**Методы.** Представлено обоснование в выборе МАИ, позволяющее детализировать показатели влияния факторов и разбивать их на составляющие. На этапе синтеза полученных аналитических результатов с помощью МАИ предложено проводить проверку полученных экспертным путем результатов через определение показателя отношения согласованности между экспертами, подтверждающего получение адекватного результата.

**Результаты.** Вероятность влияния анализируемых опасностей, имеющих отношение к авариям и пожарам на рассматриваемых предприятиях, оценивалась как функционал причин их возникновения в течение рассматриваемого периода 7 лет. В статье представлены результаты расчетов в получении коэффициентов связи, воздействия и влияния специалистов служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые подсистемы промышленной и пожарной безопасности, относящиеся к комплексной безопасности предприятия. Представлены результаты внесения поправочного коэффициента  $g$ , зависимость которого выражается в итоговых показателях ущерба, измеряемого в экономических (рублевых) и социальных (человеческих) потерях.

**Обсуждение.** В статье акцентируется внимание на том, что устойчивое функционирование промышленных предприятий зависит от обеспечения требуемого запаса надежности функционирования комплексной безопасности предприятия, поддержание которой на требуемом уровне обеспечивается ресурсом (финансовыми и материальными средствами, объемом времени, предназначенным для устранения выявленных отклонений персоналом, выполняющим трудовые функции, и т.д.). Учитывая, что выделяемый ресурс для обеспечения комплексной безопасности предприятия ограничен, его недостаточно для удовлетворения всех запросов, поступающих от руководителей служб (отделов), требуется научная проработка в адресном его обеспечении тех мероприятий, которые имеют высокий рисковый показатель.

**Выводы.** Использование методики оценки состояния комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России позволяет перевести систему управления рассматриваемыми предприятиями на новый качественный уровень.

**Ключевые слова:** курирующая служба; оценка влияния; локальный вектор приоритета; глобальный вектор приоритета; ресурсное обеспечение; входо-выходные характеристики

**Для цитирования:** Гвоздев Е.В. Об оценке состояния комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 1. С. 49–64. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.49-64

✉ Гвоздев Евгений Владимирович, e-mail: [evgvozdev@mail.ru](mailto:evgvozdev@mail.ru)

# The assessment of the integrated safety of Russian oil and gas enterprises

Evgeniy V. Gvozdev✉

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**Introduction.** The article addresses the choice of a method used to analyze hierarchies and pairwise comparisons (hereinafter — MAH), that serve as a framework for an integrated corporate safety assessment methodology. Its application ensures the transformation of input information, obtained in the form of a characteristic description of an assessed event, into the resulting assessment that has a weighted numerical value.

**Goals and objectives.** The main purpose of the article is to obtain an assessment result in respect of the actions that are added to industrial and fire safety checklists applied to assure the integrated safety of an enterprise. A selected MAH is used to make pairwise comparisons of factors and alternatives. Values of local and global priorities can be determined for each element under study. Weighted coefficients, obtained in the form of local priorities, are related to the activities being checked, while global priorities are directly related to the services (structural units) that ensure the sustainable integrated security of an enterprise.

**Methods.** The authors provide a rationale for the choice of MAH, which allows itemizing the values demonstrating the intensity of influence of factors and break them down into components. At the stage of synthesizing the obtained analytical results with the help of MAH, the results obtained by expertise must be verified by determining the value of the expert consistency ratio to confirm the adequacy of the obtained result.

**Results.** The probability of influence of analyzed hazards, related to accidents and fires at the enterprises under consideration, was assessed as a function of their causes during the 7-year period under review. The article presents calculated coefficients of communication, impacts and influence made by specialists employed with respective services (structural units) on the industrial and fire safety subsystems that encompassed the integrated safety of an enterprise. The results of introducing correction factor  $g$ , whose dependence is expressed by final indicators of damage measured in economic (ruble) and social (human) losses, are presented.

**Discussion.** The article focuses on the fact that the sustainable operation of industrial enterprises depends on the reliability margin of integrated corporate safety, the maintenance of which requires particular resources (financial, material resources, as well as the time, needed for the personnel to eliminate any identified deviations, etc.). Given that the resources focused on the integrated safety assurance are limited, they cannot meet all requests made by the heads of services (departments), while highly risky targeted activities need more research.

**Conclusions.** The application of the methodology for assessing the integrated security of Russian oil and gas enterprises allows taking their management systems to a new qualitative level.

**Keywords:** supervisory service; impact assessment; local priority vector; global priority vector; resource provision; input-output characteristics

**For citation:** Gvozdev E.V. The assessment of the integrated safety of Russian oil and gas enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(1):49-64. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.49-64 (rus).

✉ Evgeniy Vladimirovich Gvozdev, e-mail: evgvozdev@mail.ru

## Введение

Период создания, развития и совершенствования комплексной безопасности (далее — КБ) объектов защиты техносферы как науки охватывает сорок с лишним лет. Техногенные катастрофы последних десятилетий XX и начала XXI веков, возникшие на уникальных объектах техносферы: (на химическом комплексе Бхопал (Индия), на атомных электростанциях ТМА (США), ЧАЭС (СССР), на атомных подводных лодках «Трешер» (США), «Комсомолец» (СССР), на ракетных комплексах «Челленджер», «Колумбия» (США) и Н1 (СССР), на мощных энергетических установках (Канада — США), на трубопроводных системах и морских плат-

формах (Аляска — США — Норвегия), на двух пассажирских поездах под Уфой, на летательных аппаратах гражданского и военного назначения (США, СССР, Франция), на судах и танкерах (Эстония, Япония, СССР), разрушения промышленных и гражданских зданий при землетрясениях (Мексика, Иран, Спитак — СССР), уносили сотни и тысячи человеческих жизней, а увечья получали сотни тысяч человек. Экономический ущерб от этих катастроф достигал десятков и сотен миллиардов долларов. Только в последние годы возникшая экологическая катастрофа федерального значения, которая произошла 29 мая 2020 года при разгерметизации емкости для хранения дизельного топлива для ТЭЦ-3 г. Но-

рильска (район Кайеркан), создала угрозу для экосистемы Северного Ледовитого океана [1–3].

Актуальность темы, представленной для рассмотрения в статье, заключается в наличии следующих противоречий:

1. *С одной стороны*, для поддержания на требуемом уровне КБ, созданной на предприятии, выделяется существенный объем ресурсного обеспечения.

2. *С другой стороны*, в подсистемах, входящих в содержание КБ предприятий, возникают опасности техногенного характера, в том числе из-за следующих проблем:

- связанных с наличием пробелов при определении причинно-следственной связи для тех опасностей, которые в виде вторичных воздействующих факторов, рассматриваемых как чрезвычайные ситуации (далее — ЧС), приносят существенный ущерб персоналу, оборудованию и имуществу;
- связанных с отсутствием методики оценки состояния КБ предприятий, что позволяет говорить о возможном нерациональном распределении ресурса, выделяемого для обеспечения отдельных ведомственных (отраслевых) направлений.

Научная проработка и решение представленной проблемы позволит минимизировать условия возникновения опасностей, перевести систему управления КБ предприятий на новый качественный уровень.

Основная цель статьи — получить результат оцениваемых мероприятий в виде весовых показателей риска, что позволит пронормировать каждое мероприятие, входящее в содержание чек-листа (листа контроля) как по промышленной (далее — ПрБ), так и по пожарной безопасности (далее — ПБ), которые входят в содержание КБ предприятия.

Решение задач, направленных на получение результатов весовых коэффициентов в виде локальных приоритетов, будут отнесены к проверяемому мероприятию, глобальные же приоритеты будут иметь непосредственное отношение к обеспечивающим КБ предприятия службам (структурным подразделениям).

### **Анализ исследований, связанных с оценкой влияния на комплексную безопасность работающего персонала**

В последнее время направленность фундаментальных, системных и прикладных исследований в области анализа и управления КБ объектов защиты техносферы с учетом накопленного опыта постановки и решения этой проблемы приобретает уже новое значение в связи с переходом с 2018 года на принципиально новый уровень решения вопросов научного анализа, нормирования, регулирования и обеспечения техносферной безопасности и защиты

от чрезвычайных ситуаций в соответствии с Указами Президента Российской Федерации об основах государственной политики в этих областях на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Например, в январе 2018 года был принят к исполнению один из документов стратегического планирования «Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера на период до 2030 года», который утвержден Указом Президента России, в содержании которого определена главная цель по реализации данного направления безопасности — «обеспечение устойчивого социально-экономического развития РФ, а также приемлемого уровня безопасности жизнедеятельности населения в чрезвычайных ситуациях».

В настоящее время членом-корреспондентом Российской Академии наук Махутовым Николаем Андреевичем представлена сформулированная постановка задач в сфере КБ государства в виде принятия в качестве директивной и правовой базы для дальнейшей работы новых основополагающих документов — федеральных законов, концепций, стратегий, требований которых направлены на решение следующих стратегических приоритетов: социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности. Представленные приоритетные целевые установки уже начинают включать в себя большой спектр для проведения новых направлений исследований и разработок [4, 5].

В проведенных ранее исследованиях [6–8] отмечено, что созданные на предприятии службы (структурные подразделения) по обеспечению ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, являются проводниками в исполнении утвержденных требований (НПА и НД), а для обеспечения устойчивого функционирования КБ предприятий они нуждаются в качественном организационном взаимодействии между собой.

Анализ исследований, связанных с возникновением опасностей на предприятиях из-за влияния работающего персонала служб (структурных подразделений) на обеспечивающие ими подсистемы безопасности, входящие в КБ предприятия, позволил сделать выводы, что в данном направлении уже проведены серьезные исследования [9–11]. Результаты проведения исследований позволили сформировать укрупненные группы в виде следующих исследовательских направлений, к ним относятся:

1. *Направление*, в содержании которого рассматривается операторная деятельность персонала предприятия, с точки зрения его взаимодействия с процессом производства через различные автоматизированные технические системы;

2. *Направление*, в содержании которого рассматриваются функциональные и физиологические воз-

можности специалиста (работающего персонала) при штатных и аварийных ситуациях;

3. *Направление*, в содержании которого рассматривается требуемая штатная численность и уровень подготовки специалиста (работающего персонала), оценки его готовности к выполнению трудовых функций;

4. *Направление*, в содержании которого рассматривается организация рабочего места специалиста (работающего персонала), т.е. формирование комфортного эргатического пространства.

5. *Направление*, в содержании которого рассматривается полнота и соответствие набора принятых к исполнению требований для безопасного функционирования ведомственных (отраслевых) подсистем, входящих в КБ предприятия.

Отличие выбранного нового исследовательского направления, представляемого автором статьи, заключается в том, что в нем впервые рассматривается человеческий фактор в виде влияния персонала служб (структурных подразделений) на ведомственные (отраслевые) подсистемы ПрБ и ПБ. Динамика последовательного нарастания событий, приводящих к различным видам реализованных опасностей (авария, пожар, нанесение увечья или гибель персонала), во многом зависит от влияния служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые ими подсистемы ПрБ и ПБ, которые входят в содержание КБ предприятия [12–15].

Проводился анализ существующих методик (методических рекомендаций), которые изданы и утверж-

дены в ведомственных (отраслевых) подсистемах ПрБ и ПБ, которые используются на различных предприятиях. Установлен факт, что комплексная универсальная оценка состояния ПрБ и ПБ предприятий в настоящее время отсутствует [16]. Отмечается, что методы оценки, система показателей и объем необходимой информации обусловлены результатом анализа, уровнем подготовки решений и содержанием задач, которые реализуются в конкретных организационно-правовых и технико-экономических условиях. Несмотря на значительное число различных факторов, влияющих на текущее состояние с авариями и пожарами на предприятиях НГК России, в качестве выходных показателей моделей на практике в основном обрабатываются:

- показатели аварий и пожаров;
- количество пострадавших и погибших;
- значение материального ущерба;
- организационные и технические причины.

В статье дано соответствующее обоснование, что при проведении оценки состояния ПрБ и ПБ на предприятиях, кроме представленных заслуживающих внимания показателей, необходимо учитывать причины возникновения опасностей в случаях, когда возникшая опасность (авария или пожар) выходит за пределы допустимых значений запаса устойчивого функционирования отраслевой подсистемы, далее воздействует на взаимодействующие подсистемы [17, 18].

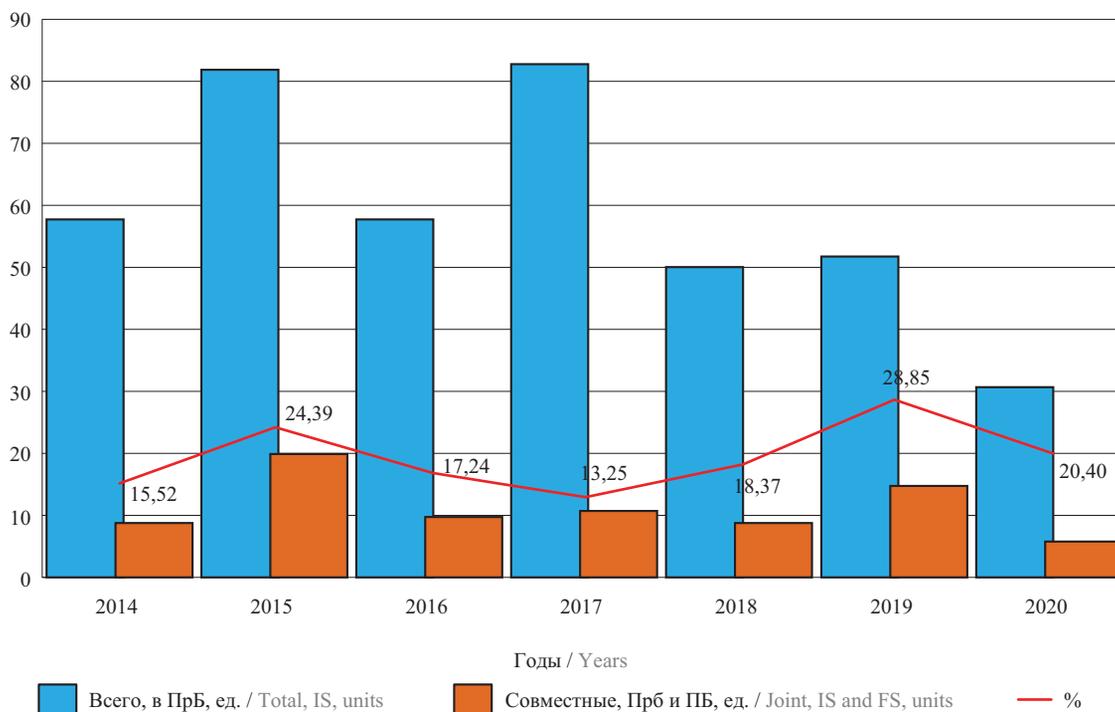


Рис. 1. Статистика совместных аварий и пожаров на предприятиях НГК России

Fig. 1. Statistics of joint accidents and fires at the OGK enterprises of Russia

### Анализ статистики возникновения аварий и пожаров на предприятиях нефтегазового комплекса России

С целью проведения дальнейших исследований по определению причин возникновения совместных аварий и пожаров на предприятиях НГК России рассматривалась статистика совместных аварий и пожаров за период 2014–2020 гг., расследование которых проводилось по линии Ростехнадзора<sup>1</sup> и МЧС России<sup>2</sup> (рис. 1).

Сделаны выводы, что доля совместных опасностей составляет около 20 %, рассчитанный показатель по среднему годовому ущербу около 1,5 млрд руб. (почти 40 % от общего нанесенного ущерба), на долю таких опасностей приходится около 38 % пострадавшего и погибшего персонала от общего показателя [19].

#### Последовательность реализации этапов методики оценки состояния комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России

Дано описание порядка получения результатов входо-выходных характеристик, имеющих принадлежность к каждому этапу методики оценки состоя-

ния комплексной безопасности (далее — «Методика») на предприятии НГК России.

На 1-м этапе — (сбора исходных данных) осуществлялся сбор данных о количестве совместных аварий и пожаров, произошедших на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг. (см. рис. 3). Далее формировались сведения с наименованиями причин возникновения совместных аварий и пожаров на предприятиях НГК России, привязанных к кодам причин пожаров по приказу МЧС России от 24.12.2018 № 625<sup>3</sup>, (табл. 1).

Затем формировалась сводная таблица для аварий, возникших на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг. В колонке перед представлением отчета об аварии указывается наименование организации, ведомственная принадлежность, дата происшествия, место аварии, вид аварии:

1. Выбор наименования кода по пожарной безопасности (ПБ) (Приказ МЧС России от 24.12.2018 № 6253 (табл. 1).

2. Выбор совместных пожаров в ПБ и аварий в ПрБ, отнесенных к выбранному по ПБ коду.

3. Присвоение кода по уровню значимости (погибшие\*, пострадавшие\*, экономический ущерб).

4. Выборка из отчета причин аварий и их включение в соответствующие столбцы.

5. Для каждой включенной причины нахождение требований документа.

<sup>1</sup> Ростехнадзор. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons>

<sup>2</sup> О представлении карточек учета пожаров : Письмо от начальника ФГБУ ВНИИПО МЧС России № ИГ-117-2212-11-6 от 15.12.2020 и № ИГ-117-793-11-6 от 21.06.2021.

<sup>3</sup> О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий : Приказ МЧС России № 625 от 24.12.2018.

**Таблица 1.** Сведения с наименованиями причин возникновения совместных аварий и пожаров на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг.

**Table 1.** The list of causes of concurrent accidents and fires at Russian oil and gas enterprises in 2014–2020

Причина Reason	Наименование причины Name of the reason	Кол-во Quantity
3	Нарушение технологического регламента процесса производства Violation of technology regulations governing the production process	28
8	Прочие причины, связанные с неисправностью производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства Other reasons related to the malfunction of production equipment, failure to comply with the production process	15
15	Самовозгорание веществ и материалов Spontaneous combustion of substances and materials	9
28	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп Other reasons that do not belong to any of the groups	7
27	Неустановленные причины Unknown reasons	5
4	Разряд статического электричества Static electricity discharge	4
14	Взрывы Explosions	4

Причина Reason	Наименование причины Name of the reason	Кол-во Quantity
48	Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации газового оборудования Other reasons related to violation of the rules of installation and operation of gas equipment	3
2	Недостаток конструкции, изготовления и монтажа производственного оборудования A drawback of the construction, production and installation of production machinery	2
13	Нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ Violation of fire safety rules during electric and gas welding works	2
23	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп Other reasons that do not belong to any of the groups	2
25	Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем Other reasons related to careless handling of fire	2
30	Неисправность систем, механизмов и узлов транспортного средства Malfunction of systems, mechanisms and components of a transport vehicle	2
27	Неустановленные причины Unknown reasons	1
28	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп Other reasons that do not belong to any of the groups	1
5	Разрушение движущихся узлов, деталей, попадание в движущиеся механизмы посторонних предметов Destruction of moving components, parts, foreign objects getting into moving mechanisms	1
11	Нарушение правил технической эксплуатации электрооборудования Violation of the rules of operation of electrical equipment	1
31	Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации транспортных средств Other reasons related to violation of the rules of operation of transport vehicles	1
33	Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования Other reasons related to violation of the rules of operation of electrical equipment	1

6. Выборка из отчета мероприятий по устранению причин.

7. В столбце «ущерб» прописываются погибшие, пострадавшие, а также экономический ущерб.

Формирование сводной таблицы для аварий, возникших на предприятиях НГК России, стало завершением работы в виде представления выходных характеристик для 1-го этапа методики оценки состояния ПрБ и ПБ на предприятиях НГК России.

**На 2-м этапе** (анализа данных с определением локальных приоритетов для мероприятий и служб) проводилась детальная проработка отчетов по авариям, возникшим на предприятиях НГК России. В данном случае (в связи с введенными ограничениями) рассматривались следующие службы (структурные подразделения): ПрБ; ПБ; охраны труда (ОТ); структурного подразделения, выполняющего задачи по обеспечению функционирования технологического процесса (Основное подразделение).

На данном этапе проводились следующие операции:

**1. Операция по формированию иерархии целей.** Производилась декомпозиция проблемы принятия решений с выделением главных целей, подцелей и различных целевых функций (альтернатив). Элементы одинаковых уровней сопоставлялись друг с другом с точки зрения возможности установления приоритетов. Использование МАИ позволило определить потенциальные недоработки служб (структурных подразделений), которые необходимо учитывать. В результате декомпозиции получены следующие иерархии (рис. 2).

Математически задача формулировалась следующим образом. Требовалось найти аналитическое выражение выходного параметра ( $y$ ) от определяющих его факторов ( $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ ), т.е. потребовалось найти функцию

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

которая наилучшим образом воспроизведет эмпирические данные зависимостей переменной ( $y$ ) и раскроет характер степени влияния аргументов на функцию [20]. Для проведения такого исследования потребовалось использовать данные за определенный промежуток времени, относящиеся к классу одно-

родных (однотипных) параметров причин возникновения аварий и пожаров. С целью получения конкретных показателей, имеющих числовую величину и получаемых из результатов с их характеристическим описанием, были использованы матрицы следующего вида:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_1/w_2 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $w_1, \dots, w_n$  имеют отношение к весам, рассчитываемым в виде натуральных чисел (от 1 до 9), представляющих точное числовое значение;

$n$  — общее число рассматриваемых в выборке альтернатив, имеющих отношение к рангу матрицы.

Следовательно, если установить факт в выборке отклонений в виде чисел от идеальных отношений  $w_1/w_1 \dots w_n/w_n$ , представляющих показатели в виде числовых коэффициентов  $\lambda_1 \dots \lambda_n$ , можно установить факт максимального отклонения от идеальных отношений в виде зависимости значения  $n$  через  $\lambda_{\max}$ , тогда задача имеет единственное решение и может быть представлена в виде:

$$A = (A_1 - A_n) = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{n=1}^n a_n w_n (n=1-9). \quad (3)$$

Важность влияния каждого элемента матричной выборки на достижение цели определялась решением уравнения:

$$|A - \lambda_{\max} w_n| = 0. \quad (4)$$

Потребовалось определить максимальное число  $\lambda_{\max}$  и вектор приоритета строки  $\bar{q}$ :

$$|A - \lambda_{\max} w_{1-n} \bar{q}| = 0. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) решались с помощью весовых коэффициентов, входящих в содержание метода Ньютона, а нулевое приближение находилось как среднее геометрическое:

$$\bar{q} = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_n), \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} q_1 &= (q_{11}, q_{12}, q_{13}, \dots, q_{1n}), \\ q_2 &= (q_{21}, q_{22}, q_{23}, \dots, q_{2n}), \\ &\dots \\ q_n &= (q_{n1}, q_{n2}, q_{n3}, \dots, q_{nn}). \end{aligned} \quad (7)$$

Были рассчитаны локальные приоритеты сравниваемых элементов. Для каждой строки матрицы определялось геометрическое среднее ее элементов, затем полученные результаты суммировались, а показатель с геометрически средним численным значением каждой из строк матрицы делился на ранее полученную



Рис. 2. Иерархия проблемы определения приоритета при проведении оценки

Fig. 2. Priority setting problem hierarchy used in the course of assessment

сумму [21]. В результате были получены показатели локальных приоритетов для каждого пронормированного мероприятия, взятого из отчетов по авариям. Фрагмент таблицы, представляющей порядок получения локальных приоритетов для оцениваемых мероприятий (см. табл. 2).

В табл. 2 представлены показатели отношения согласованности (ОС), где утверждалось, что экс-

пертный расчет будет считаться согласованным при выполнении условия  $ОС \leq 0,1$ .

Учитывалась необходимость согласования результатов, полученных от нескольких экспертов, из-за возможного наличия погрешностей в виде существенных отклонений. Принимались во внимание отношения согласованности (ОС), индекс согласованности (ИС), случайный индекс (СИ).

**Таблица 2.** Сведения о получении показателей локальных приоритетов оцениваемых мероприятий и отношения согласованности суждений экспертов

**Table 2.** Information about the indicators of local priorities of assessed activities and the expert consistency ratio

Перечень мероприятий, ставших причинами возникновения опасностей (аварий и пожаров) List of events causing hazards (accidents and fires)	1. Нарушение порядка и последовательности пусковых операций Violation of the order and sequence of launch operations	2. Неудовлетворительный контроль за проведением пусковых операций Unsatisfactory control over the launch operations	3. Ненадлежащее исполнение своих должностных обязанностей руководителями и специалистами организации Improper performance of their official duties by managers and specialists of the organization	4. Неудовлетворительная организация производственного контроля на опасном производственном объекте Unsatisfactory organization of production control at a dangerous production facility	Произведение Product	$\sqrt[3]{\Pi}$	Локальный вектор приоритета Local priority vector
1. Нарушение порядка и последовательности пусковых операций Violation of the order and sequence of launch operations	1	1/3	1/5	1/7	0,01	0,31	0,06
2. Неудовлетворительный контроль за проведением пусковых операций Unsatisfactory control over the launch operations	3	1	1/3	1/5	0,20	0,67	0,12
3. Ненадлежащее исполнение своих должностных обязанностей руководителями и специалистами организации Improper performance of their official duties by managers and specialists of the organization	5	3	1	1/3	5,00	1,50	0,26
4. Неудовлетворительная организация производственного контроля на опасном производственном объекте Unsatisfactory organization of production control at a dangerous production facility	7	5	3	1	105,00	3,20	0,56
Вектор столбца Column vector	16,00	9,33	4,53	1,68		5,68	1,00
$\lambda_{\max}$	<b>4,12</b>						
ИС	<b>0,04</b>						
ОС	<b>0,04</b>						

**Таблица 3.** Зависимость показателя случайной согласованности от ранга матрицы  
**Table 3.** Dependence between the random consistency indicator and the matrix rank

Размерность матрицы Matrix dimensions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность Random consistency	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Представленные характеристики соотносятся как

$$OC = IC/CI. \quad (8)$$

При этом IC находят с помощью выражения

$$IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1), \quad (9)$$

где  $\lambda_{max}$  вычислялся следующим образом:

- суммировался каждый столбец матрицы;
- затем сумма первого столбца умножалась на показатель первой компоненты локального вектора приоритетов, а сумма второго столбца на показатель второй компоненты и т.д. (расположены в каждой из четырех строк табл. 2);
- затем полученные показатели суммировались между собой.

$n$  — размерность матрицы, в данном случае матрица в табл. 3 является четырехранговой;

Показатель CI определялся расчетным числом, представленным зависимостью от ранга матрицы (табл. 3).

Показатель отношения согласованности, представленный в табл. 3, считается согласованным, так как выполняется условие для  $OC \leq 0,1$ .

При определении уровневого показателя рейтинга для каждого мероприятия, взятого из отчетов по авариям на предприятиях НГК России, возникла необходимость в рассмотрении функционала  $F$ , связывающего вероятность  $P$  возникновения неблагоприятного события и математическое ожидание ущерба  $U$  от этого неблагоприятного события объекта и его элемента

$$R = F_R \{U, P\} = \sum_i [F_{R_i}(U_i, P_i)], \quad (10)$$

где  $R$  — результат оценки рисков;

$i$  — виды неблагоприятных событий.

Для качественного и количественного анализа рисков по выражению (10) на базе фундаментальных и прикладных исследований велось построение математических моделей анализируемых элементов, создающих угрозы возникновения опасностей как отдельным отраслевым (ведомственным) подсистемам, так и комплексной безопасности по соответствующим видам безопасности и их сочетаниям. В этих моделях с целью определения зависимости, связывающей

вероятность возникновения опасности —  $P$  и математическое ожидание ущерба —  $U$  от этого неблагоприятного  $i$ -го события объекта (его элемента), использовались нормированные коэффициенты —  $q$ , которые определялись на основе привязки к ущербам, показанным в отчетах по авариям на предприятиях НГК России. При таком подходе использовалась конкретная привязка к функционированию их конкретных видов технологического процесса производства: добыча (Д); переработка (П); хранение (Х); транспортировка (Т).

Общий ущерб  $U$  рассчитывался через сумму ущербов, относящихся к видам его составляющих процессов производства  $U_{(Д,П,Х,Т)}$ , наносимых объектам защиты техносферы (персоналу, материальным средствам и оборудованию), оцениваемый по двум показателям: экономическому — в рублях (условных единицах) и человеческим потерям (безвозвратным/санитарным потерям) (табл. 4).

$$U = F_U \{U_D, U_P, U_X, U_T\} = \sum_i [F_{U_{(Д,П,Х,Т)}}(U_D, U_P, U_X, U_T)] q_{(0,01-1)}. \quad (11)$$

Вероятность  $P$  анализируемой опасности (ее составляющих по видам  $P_{(Д,П,Х,Т)}$ ) оценивалась как функционал причин возникновения опасностей (пожаров) с привязкой к коду причин, взятых из приказа МЧС России<sup>3</sup>.

$$P = F_P \{P_D, P_P, P_X, P_T\} = \sum_i [F_{P_{(Д,П,Х,Т)}}(P_D, P_P, P_X, P_T)] q_{(0,01-1)}. \quad (12)$$

Далее проводилась операция по определению целевых показателей работы каждой из служб. На этом временном отрезке последовательно вычислялись локальные векторы приоритетов и проверялась с помощью экспертов согласованность результатов работы каждой из служб (структурных подразделений), выполняющих мероприятия по контролю каждого элемента иерархии. Выполним расчеты для нашего примера (см. фрагменты табл. 5–8).

**Таблица 4.** Результаты использования нормированного коэффициента  $q$  от ущерба в рублях и человеческих потерь (погибших, пострадавших)

**Table 4.** Results of using the normalized coefficient  $q$  of damage in rubles and human losses (dead, injured)

$q$	Погибшие Casualties	Пострадавшие Victims	Ущерб, тыс. руб. Damage, thousand rubles	$q$	Ущерб, тыс. руб. Damage, thousand rubles	$q$	Ущерб, тыс. руб. Damage, thousand rubles
$q = 1$	8	32	620,0	$q = 0,6$	957 000	$q = 0,2$	357,394
	6	2	14 500,0		809 450		344,46
	4	13	4,2		631 449		273
	4		2500,0		560 000		248,975
	3	6	21,2	$q = 0,5$	400 000,0		240
$q = 0,9$	2		11 501		347 900,0		228
	2				220 000,0		216,611
	1	5	1359,50		209 900,0		200
	1	2	387 000		133 587,0		199
	1	1	79 390		132 400,0		198
	1	1			123 416,0		162
	1		10 180		68 682,6		39,6
	1		5050		32 391,0		10
	1		1 633,85		23 800,0	$q = 0,1$	
	1		1 122,27		16 770,0		
	1		364		15 196,0		
	1		25		14 243,0		
	1				5904,5		
	1				5333,2		
$q = 0,8$		18		$q = 0,4$	4925		
		11	206 000,0		3644		
		3			3265		
$q = 0,7$		2	158,0		2829		
		2			2820		
		1	8000,0		1551,97		
		1	1466,0	$q = 0,3$	897,788		
		1	250,0		800		
		1	194,0		664,4		
		1	29,0	$q = 0,2$	458,3		
		1	6,9		360		

**Таблица 5.** Зависимость показателей работы служб (структурных подразделений) при рассмотрении мероприятия № 1 (табл. 2)  
**Table 5.** Dependence of the performance indicators of the service (structural divisions) when considering activity No. 1 (Table 2)

Нарушение порядка и последовательности пусковых операций Violation of the procedure and sequence of launch operations	ПрБ IS	ПБ FS	ОТ LP	Основное подразделение Principal unit	Произведение Product	$\sqrt[4]{\Pi}$	Локальный вектор приоритета Local priority vector
ПрБ IS	1	5	7	1/3	11,67	1,85	<b>0,31</b>
ПБ FS	1/5	1	1	1/5	0,04	0,45	0,08
ОТ LP	1/7	1	1	1/7	0,02	0,38	0,06
Основное подразделение Principal unit	3	5	7	1	105,00	3,20	<b>0,54</b>
Вектор столбца Column vector	4,34	12,00	16,00	1,68		5,87	1,00
$\lambda_{\max}$	<b>4,22</b>						
<b>ИС</b>	<b>0,07</b>						
<b>ОС</b>	<b>0,08</b>						

Службами (структурными подразделениями), имеющими максимальное воздействие на оцениваемое мероприятие, являются *основное подразделение и служба промышленной безопасности*.

**Таблица 6.** Зависимость показателей работы служб (структурных подразделений) при рассмотрении мероприятия № 2 (табл. 2)  
**Table 6.** Dependence of the performance indicators of services (structural divisions) when considering activity No. 2 (Table 2)

Неудовлетворительный контроль за проведением пусковых операций Unsatisfactory control over launch operations	ПрБ IS	ПБ FS	ОТ LP	Основное подразделение Principal unit	Произведение Product	$\sqrt[4]{\Pi}$	Локальный вектор приоритета Local priority vector
ПрБ IS	1	3	5	7	105,00	3,20	<b>0,58</b>
ПБ FS	1/3	1	3	3	3,00	1,32	<b>0,24</b>
ОТ LP	1/5	1/3	1	3	0,20	0,67	0,12
Основное подразделение Principal unit	1/7	1/3	1/3	1	0,02	0,35	0,06
Вектор столбца Column vector	1,68	4,67	9,33	14,00		5,54	1,00
$\lambda_{\max}$	<b>4,10</b>						
<b>ИС</b>	<b>0,03</b>						
<b>ОС</b>	<b>0,04</b>						

Службами (структурными подразделениями), имеющими максимальное воздействие на оцениваемое мероприятие, являются *службы промышленной и пожарной безопасности*.

**Таблица 7.** Зависимость показателей работы служб (структурных подразделений) при рассмотрении мероприятия № 3 (табл. 2)  
**Table 7.** Dependence of performance indicators of services (structural divisions) when considering activity No. 3 (Table 2)

Ненадлежащее исполнение своих должностных обязанностей руководителями и специалистами организации Improper performance of their official duties by managers and specialists of the organization	ПрБ IS	ПБ FS	ОТ LP	Основное подразделение Principal unit	Произведение Product	$\sqrt[4]{\Pi}$	Локальный вектор приоритета Local priority vector
ПрБ IS	1	3	5	7	105,00	3,20	<b>0,58</b>
ПБ FS	1/3	1	3	3	3,00	1,32	<b>0,24</b>
ОТ LP	1/5	1/3	1	3	0,20	0,67	0,12
Основное подразделение Principal unit	1/7	1/3	1/3	1	0,02	0,35	0,06
Вектор столбца Column vector	1,68	4,67	9,33	14,00		5,54	1,00
$\lambda_{\max}$	<b>4,10</b>						
<b>ИС</b>	<b>0,03</b>						
<b>ОС</b>	<b>0,04</b>						

Службами (структурными подразделениями), имеющими максимальное воздействие на оцениваемое мероприятие, являются *службы промышленной и пожарной безопасности*.

**Таблица 8.** Зависимость показателей работы служб (структурных подразделений) при рассмотрении мероприятия № 4 (табл. 2)  
**Table 8.** Dependence of performance indicators of services (structural divisions) when considering activity No. 4 (Table 2)

Неудовлетворительная организация производственного контроля на опасном производственном объекте Unsatisfactory organization of production control at a hazardous production facility	ПрБ IS	ПБ FS	ОТ LP	Основное подразделение Principal unit	Произведение Product	$\sqrt[4]{\Pi}$	Локальный вектор приоритета Local priority vector
ПрБ IS	1	3	5	1	15,00	1,97	0,39
ПБ FS	1/3	1	3	1/3	0,33	0,76	0,15
ОТ LP	1/5	1/3	1	1/5	0,01	0,34	0,07
Основное подразделение Principal unit	1	3	5	1	15,00	1,97	0,39
Вектор столбца Column vector	2,53	7,33	14,00	2,53		5,04	1,00
$\lambda_{\max}$	<b>4,03</b>						
<b>ИС</b>	<b>0,01</b>						
<b>ОС</b>	<b>0,01</b>						

Службами (структурными подразделениями), имеющими максимальное воздействие на оцениваемое мероприятие, являются *служба промышленной безопасности и основное подразделение*.

**3-й этап (синтез данных)** включал проведение последовательных операций, связанных с определением коэффициентов связи, воздействия (влияния) служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые ведомственными (отраслевыми) подсистемами через выполнение мероприятий по контролю за исполнением установленных требований НПА и НД. Решались следующие операции.

**1. Операция по определению коэффициента связи служб (структурных подразделений)** с обеспечиваемыми ведомственными (отраслевыми) подсистемами. При использовании моделей математической статистики рассчитывались парные и частные коэффициенты корреляции ввиду их исключительной роли в количественной оценке взаимосвязи между отдельными переменными анализируемой совокупности обрабатываемых результатов. Значения коэффициента связи, рассматриваемого в виде парной корреляции  $r_{ij}$  между любыми переменными  $x_i$  и  $x_j$ , представленными в виде матрицы (10), определялись по формуле

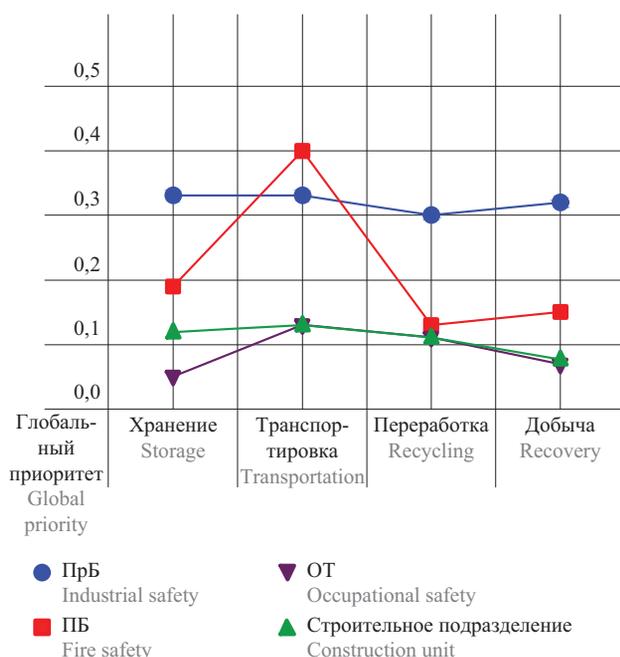
$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i) \cdot (x_{ij} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}} \quad (13)$$

Тогда рассчитанные коэффициенты парной корреляции для матрицы исходных данных (12) стали составлять матрицу  $P_r$ , причем матрица  $P_r$  симметрична относительно главной диагонали, так как для любых  $i$  и  $j$ ,  $r_{ij} = r_{ji}$ . Поэтому для определения коэффициента связи служб (структурных подразделений) с обеспечиваемыми ведомственными (отраслевыми) подсистемами стала иметь важное исследовательское значение как наиболее часто определяемая характеристика многомерной системы. Пример с привязкой к рассчитанным и представленным показателям, отраженным в табл. 2, 5–8, по определению коэффициента связи служб (структурных подразделений) с обеспечиваемыми ведомственными (отраслевыми) подсистемами (табл. 9).

Локальные приоритеты альтернатив умножались на приоритеты соответствующих уровней, далее суммировались по каждому элементу в соответствии с факторными значениями. Затем для исследуемой иерархии определялись приоритеты с показателями воздействия служб (структурных подразделений) с учетом приоритетов оцениваемых мероприятий. Наиболее высокий рейтинг соответствует альтернативе с наибольшим значением приоритета для служб промышленной и пожарной безопасности (см. табл. 9).

**Таблица 9.** Расчет по определению глобального приоритета работы служб (структурных подразделений)  
**Table 9.** The calculated global priority in the work of services (structural units)

Перечень мероприятий, ставших причинами возникновения опасностей (аварий и пожаров) List of measures that have caused hazards (accidents and fires)	Нарушение порядка и последовательности пусковых операций Violation of the procedure and sequence of launch operations	Неудовлетворительный контроль за проведением пусковых операций Unsatisfactory control over launch operations	Ненадлежащее исполнение своих должностных обязанностей руководителями и специалистами организации Improper performance of responsibilities by corporate managers and specialists	Неудовлетворительная организация производственного контроля на опасном производственном объекте Unsatisfactory organization of production control at a hazardous production facility	Глобальный приоритет Global priority
Интегральные значения Integral values	0,06	0,12	0,26	0,56	
ПрБ IS	0,31	0,58	0,58	0,39	<b>0,47</b>
ПБ FS	0,08	0,24	0,24	0,15	<b>0,18</b>
ОТ LP	0,06	0,12	0,12	0,07	<b>0,07</b>
Основное подразделение Principal unit	0,54	0,06	0,06	0,39	<b>0,28</b>



**Рис. 3.** Показатели уровней воздействия служб (структурных подразделений) с привязкой к видам деятельности предприятий НГК России

**Fig. 3.** Indicators of levels of impact made by the services (structural units) broken down by the types of activities conducted by Russian oil and gas enterprises

Рассчитанные показатели уровней воздействия служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые подсистемы представлены на рис. 3.

На рис. 3 в виде кусочно-линейной аппроксимации представлены результаты коэффициентов связи служб (структурных подразделений) с обеспечиваемыми подсистемами. Полученные представленные значения весовых коэффициентов связи стали исходными данными для определения коэффициентов воздействия служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые ими подсистемы.

## Выводы

Доказана актуальность проведения дальнейших исследований в комплексной безопасности для предприятий НГК России. Представлен обоснованный вариант по выбору МАИ метода исследования, направленного на получение оценки состояния существующей системы для ее дальнейшего совершенствования и развития. Сформирована методика оценки состояния промышленной и пожарной безопасности на предприятиях НГК России. Приведен пример с определением рейтинга влияния, рассматриваемого в виде не исполнения документа (нормативно-правового акта), изданного в отраслевой подсистеме Ростехнадзора, который в дальнейшем может быть проставлен в проверочные листы (списки контрольных вопросов), формы и содержание которых представлены в проекте приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Абросимов Н.В., Агеев А.И., Акимов В.А., Аксютин О.Е., Алдошин С.М., Алешин А.В. и др.* Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности / под ред. Махутова Н.А. М. : Знание, 2017. 992 с.
2. *Гордиенко Д.М., Шебеко А.Ю., Зубань А.В., Шебеко Ю.Н., Молчанов В.П., Воевода С.С.* Оценка пожарного риска для крупномасштабного хранилища сжиженного природного газа // Пожарная безопасность. 2017. № 3. С. 26–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30014168>
3. *Landucci G., Argenti F., Cozzani V., Reniers G.* Assessment of attack likelihood to support security risk assessment studies for chemical facilities // Process Safety and Environmental Protection. 2017. Vol. 110. Pp. 102–114. DOI: 10.1016/j.psep.2017.06.019
4. *Жуков И.С., Лисанов М.В., Самусева Е.А.* Критерии допустимого социального риска при авариях на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 5. С. 79–86. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-5-79-86
5. *Vairo T., Pontiggia M., Fabiano B.* Critical aspects of natural gas pipelines risk assessments. A case-study application on buried layout // Process Safety and Environmental Protection. 2021. Vol. 149. Pp. 258–268. DOI: 10.1016/j.psep.2020.10.050
6. *Гвоздев Е.В., Грибанова Е.Б., Матвиенко Ю.Г.* Методология анализа показателей влияния человеческого фактора на комплексную безопасность электроэнергетических предприятий // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 12. С. 38–43. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-38-43
7. *Гвоздев Е.В., Матвиенко Ю.Г.* Комплексная оценка риска на предприятиях жизнеобеспечения, имеющих опасные производственные объекты // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 10. С. 69–78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78

8. *Ding L., Khan F., Ji J.* Risk-based safety measure allocation to prevent and mitigate storage fire hazards // *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. Vol. 135. Pp. 282–293. DOI: 10.1016/j.psep.2020.01.008
9. *Zhu Q.J., Su G.H.* Research on the human resources performance management based on the strategic direction data mode analysis // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 687–691. Pp. 4560–4563. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.687-691.4560
10. *Emmers R.* Comprehensive security and resilience in Southeast Asia: ASEAN’s approach to terrorism // *The Pacific Review*. 2009. Vol. 22 (2). Pp. 159–177. DOI: 10.1080/09512740902815300
11. *Абросимов Н.В., Аксютин О.Е., Аleshин А.В., Аleshин Н.П., Ахметханов Р.С., Баришполец В.А. и др.* Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы промышленной безопасности. М. : Знание, 2019. 824 с.
12. *Гвоздев Е.В., Матвиенко Ю.Г.* К обеспечению комплексной безопасности предприятий, имеющих опасные производственные объекты // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. Научный информационный сборник. 2020. № 2. С. 72–81. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-02-9
13. *Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г., Романов А.Н.* Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения : монография. М. : URSS, 2018. 720 с.
14. *Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D.* Human-machine-interaction in the industry 4.0 era // 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
15. *Donham K.J., Thelin A., Donham K.J., Thelin A.* General environmental hazards in agriculture communities // *Agricultural Medicine*. 2016. Pp. 251–291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
16. *Махутов Н.А., Фридлянд Я.М., Распопов А.А., Лисанов М.В.* Развитие подходов к решению задач обеспечения прочности, ресурса и безопасности магистрального нефтепроводного транспорта // *Безопасность труда в промышленности*. 2019. № 9. С. 7–14. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-9-7-14
17. *Zhao S., Song J., Ermon S.* The information autoencoding family: A lagrangian perspective on latent variable generative models // 34th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence 2018, UAI 2018. 2018.
18. *Mróz K., Hager I., Korniejenko K.* Material solutions for passive fire protection of buildings and structures and their performances testing // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 151. Pp. 284–291. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.388
19. *Махутов Н.А., Гаденин М.М., Буйновский С.Н., Гражданкин А.И.* Научные основы промышленной безопасности в многотомном издании «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 4. С. 17–26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26
20. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. М. : Радио и связь, 1993. 320 с.
21. *Гвоздев Е.В., Рыбаков А.В.* О методике оценки состояния пожарной безопасности на предприятии ОАО «Мосводоканал» // *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. 2014. № 3. С. 68–80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodike-otsenki-sostoyaniya-pozharnoy-bezopasnosti-na-predpriyatii-oao-mosvodokanal>

## REFERENCES

1. *Abrosimov N.V., Ageev A.I., Akimov V.A., Aksyutin O.E., Aldoshin S.M., Aleshin A.V. et al.* *Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Fundamental and applied problems of complex security*. Makhutova N.A. (ed.). Moscow, Znanie Publ., 2017; 992. (rus).
2. *Gordienko D.M., Shebeko A.Yu., Zuban A.V., Shebeko Yu.N., Molchanov V.P., Voevoda S.S.* Fire risk assessment for large storage of liquefied natural gas. *Pozharnaya bezopasnost’/Fire Safety*. 2017; 3:26-31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30014168> (rus).
3. *Landucci G., Argenti F., Cozzani V., Reniers G.* Assessment of attack likelihood to support security risk assessment studies for chemical facilities. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017; 110: 102-114. DOI: 10.1016/j.psep.2017.06.019
4. *Zhukov I.S., Lisanov M.V., Samuseva E.A.* Criteria for tolerable social risk in case of accidents at hazardous production facilities. *Occupational safety in industry*. 2020; 5:79-86. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-5-79-86 (rus).
5. *Vairo T., Pontiggia M., Fabiano B.* Critical aspects of natural gas pipelines risk assessments. A case-study application on buried layout. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021; 149:258-268. DOI: 10.1016/j.psep.2020.10.050

6. Gvozdev E.V., Griбанова E.B., Matvienko Yu.G. Methodology for Analysis of the Indicators of the Human Factor Effect on the Integrated Safety and Security of Electric Power Enterprises. *Occupational safety in industry*. 2020; 12:38-43. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-38-43 (rus).
7. Gvozdev E.V., Matvienko Yu.G. Comprehensive Risk Assessment at the Life Support Enterprises with Hazardous Production Facilities. *Occupational safety in industry*. 2019; 10:69-78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78 (rus).
8. Ding L., Khan F., Ji J. Risk-based safety measure allocation to prevent and mitigate storage fire hazards. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020; 135:282-293. DOI: 10.1016/j.psep.2020.01.008
9. Zhu Q.J., Su G.H. Research on the human resources performance management based on the strategic direction data mode analysis. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 687-691:4560-4563. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.687-691.4560
10. Emmers R. Comprehensive security and resilience in Southeast Asia: ASEAN's approach to terrorism 1. *The Pacific Review*. 2009; 22(2):159-177. DOI: 10.1080/09512740902815300
11. Abrosimov N.V., Akxyutin O.E., Alyoshin A.V., Aleshin N.P., Akhmetkhanov R.S., Barishpolets V.A. et al. Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. scientific foundations of industrial safety. Moscow, Znanie Publ., 2019; 824. (rus).
12. Gvozdev E.V., Matvienko Yu.G. To ensure complex safety of enterprises with hazardous production facilities. *Problems of safety and emergency situations. Scientific information collection*. 2020; 2:72-81. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-02-9 (rus).
13. Makhutov N.A., Matvienko Yu.G., Romanov A.N. *Problems of strength, technogenic safety and structural materials science : Monograph*. Moscow, URSS, 2018; 720. (rus).
14. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
15. Donham K.J., Thelin A., Donham K.J., Thelin A. General Environmental Hazards in Agriculture Communities. *Agricultural Medicine*. 2016; 251-291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
16. Makhutov N.A., Fridlyand Ya.M., Raspopov A.A., Lisanov M.V. Development of approaches to solving the problems of ensuring strength, service life and safety of the trunk oil transportation. *Occupational safety in industry*. 2019; 9:7-14. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-9-7-14 (rus).
17. Zhao S., Song J., Ermon S. The information autoencoding family: A lagrangian perspective on latent variable generative models. *34th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence 2018, UAI 2018*. 2018.
18. Mróz K., Hager I., Korniejenko K. Material Solutions for Passive Fire Protection of Buildings and Structures and Their Performances Testing. *Procedia Engineering*. 2016; 151:284-291. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.388
19. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Buinovskiy S.N., Grazhdankin A.I. Scientific Fundamentals of Industrial Safety in the Multivolume Series "Safety of Russia. Legal, Socio-Economic and Scientific-Technical Aspects". *Occupational safety in industry*. 2020; 4:17-26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26 (rus).
20. Saati T. *Decision-making. Method of hierarchy analysis : Trans. from English*. M.: Radio and communication Publ., 1993; 320. (rus).
21. Gvozdev E.V., Rybakov A.V. About the methodology for assessing the state of fire safety the enterprise JSC "Mosvodokanal". *Scientific and educational problems of civil protection*. 2014; 3:68-80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodike-otsenki-sostoyaniya-pozharnoy-bezopasnosti-na-predpriyatii-oao-mosvodokanal> (rus).

*Поступила 13.08.2021, после доработки 12.11.2021; принята к публикации 31.01.2022  
Received August 13, 2021; Received in revised form November 12, 2021; Accepted January 31, 2022*

### Информация об авторе

**ГВОЗДЕВ Евгений Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и электроснабжения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: [evgvozdev@mail.ru](mailto:evgvozdev@mail.ru)

### Information about the author

**Evgeniy V. GVOZDEV**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Department of Automation and Power Supply, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: [evgvozdev@mail.ru](mailto:evgvozdev@mail.ru)