

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025. Т. 34. № 6. С. 33–48
 POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025; 34(6):33-48

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.842.8

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2025.34.06.33-48>

Разработка модели управления комплексной безопасностью на взрывопожароопасных предприятиях

Евгений Владимирович Гвоздев ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлено обоснование и сформировано новое направление для проведения научного исследования в области оценки организационных рисков по следующим причинам:

- организационные риски возникают и проявляются при управленческом влиянии персонала органа управления на персонал, относящийся к категории производственных структурных подразделений, т.е. природой их возникновения является информация, которая не формализована, она представляет собой качественное описание;
- организационные риски выявляются и устраняются в настоящее время автономно в отдельных видах деятельности (промышленной и пожарной безопасности, охране труда), осуществляющих контроль в отношении персонала производственных структурных подразделений как в повседневной деятельности, так и при проведении расследований по авариям (Ростехнадзор), пожарам (МЧС России), пострадавшим и погибшим (Минтруд). В отчетах отсутствует информация о недостатках работы персонала конкретного направления безопасности, в котором такой риск возник и проявился в опасное событие.

Цель и задачи. Цель состоит в разработке модели оценки организационных рисков в системе комплексной безопасности на взрывопожароопасных предприятиях на основе ортогональности систем. Представлено обоснование о целесообразности использования межотраслевого подхода, т.е. использования знаний из других научных отраслей, например из «теории автоматического управления». Разработана нормортогональная модель для оценки организационных рисков в системе комплексной безопасности на взрывопожароопасных предприятиях. Сосредоточено внимание на достоверности результатов, получаемых на основе построения ортогональных систем, представлен пример с возможностью использования модели на практике.

Методы. Для решения задач обосновано использование экспертных методов, которые позволят преобразовать качественные характеристики в количественную меру. Обосновано использование метода ранжирования приоритетов, используемого совместно с функционалом вероятностного распределения Гаусса. Предложено использовать направленный вектор на ортогональной плоскости с представлением состояния системы комплексной безопасности за оцениваемый период.

Выводы. Представлено обоснование по применению группы экспертных методов и метода направленных векторов на ортогональной плоскости, использование которых позволяет получить показатели влияния направлений безопасности на общее состояние системы комплексной безопасности взрывопожароопасных предприятий. Продемонстрирован пример, позволяющий доказать адекватность использования модели на практике для оценки рисков.

Ключевые слова: направленный вектор; оценка организационных рисков; негативное воздействие; качественное влияние

Для цитирования: Гвоздев Е.В. Разработка модели управления комплексной безопасностью на взрывопожароопасных предприятиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 6. С. 33–48. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.06.33-48

✉ Гвоздев Евгений Владимирович, e-mail: evgvozdev@mail.ru

Development of a comprehensive safety management model for explosion and fire hazardous enterprises

Evgeniy V. Gvozdev ✉

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

ABSTRACT

Introduction. The rationale is presented and a new direction in the field of organizational risk assessment is formed for the following reasons:

- organizational risks arise and manifest themselves under the managerial influence of the personnel of the management body on the personnel belonging to the category of production structural units, i.e. the nature of their occurrence is information that is characteristically described;

- organizational risks are currently being determined and eliminated independently in certain types of activities (industrial and fire safety, labour protection) that exercise control over the personnel of production structural units. Each type of activity is supervised by Rostekhnadzor, the Ministry of Emergency Situations of Russia, and the Ministry of Labour, and reports on accidents, fires, and accidents at work do not contain information about the shortcomings of personnel in a particular area of safety in which such a risk arose and manifested itself in a dangerous event.

Purpose and objectives. The aim is to develop a model for assessing organizational risks in the integrated safety system at explosion and fire hazardous enterprises based on the orthogonality of the systems. A norm orthogonal model was developed to assess organizational risks in explosion and fire hazardous enterprises. Attention is focused on the reliability of the results obtained based on the construction of orthogonal systems, and an example is presented with the possibility of using the developed model in practice.

Methods. To solve the problems, the use of expert methods is justified, which will allow converting qualitative characteristics into a quantitative measure. The use of the prioritization method used in conjunction with the Gaussian probability distribution functional is substantiated. A model is proposed, displayed on an orthogonal plane by a directional vector, which represents the state of the integrated security system over the estimated period.

Conclusions. The rationale for the application of a group of expert methods and the method of directed vectors on an orthogonal plane is presented; their use makes it possible to obtain indicators of the impact of safety trends on the overall state of the integrated safety system of explosion- and fire-hazardous enterprises. An example is shown that makes it possible to prove the adequacy of using the model in practice for risk assessment.

Keywords: directional vector; assessment of organizational risks; negative impact; qualitative impact

For citation: Gvozdev E.V. Development of a comprehensive safety management model for explosion and fire hazardous enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(6):33-48. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.06.33-48 (rus).

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

Введение

Для различных случаев возникновения опасных событий (ОС) (аварий и пожаров), которые произошли и могут произойти на взрывопожароопасных (ВПО) предприятиях, требуется использовать риск-ориентированный подход. В настоящее время состояние комплексной безопасности на ВПО предприятиях определяется на основе результатов оценки технических, организационно-технических и организационных рисков [1]. Существенная доля (около 75 %) всех возникших организационно-технических и организационных рисков связана с человеческим фактором (ЧФ) [2, 3]. В области оценки технических и организационно-технических рисков получены результаты знаний от научных школ:

- ФГБУН ИМАШ РАН по риск-анализу и безопасности опасных производственных объектов (ОПО), которое ежегодно издает новые монографические сборники «Безопасность России», например [4–6];
- ЗАО НТЦ ПБ по обоснованию безопасности ОПО, а также по анализу риска, обоснованию и декларированию безопасности при возмездном оказании услуг в случае обращения юридических лиц [6–8];
- ФГБУ ВНИИПО по организационно-методическому обеспечению работ, связанных с независимой оценкой пожарного риска при возмездном оказании услуг в случае обращения юридических лиц [9–11];
- ФГБУ ВНИИ ГОЧС по совершенствованию способов управления рисками чрезвычайных ситуаций (ЧС) с учетом вызовов и угроз национальной безопасности России при разработке НПА и НД [12, 13].

В настоящее время для оценки *рисков* используются различные методы, например FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) — анализ видов и последствий отказов¹, Байесовского анализа или сети Байеса². Достоинством ставшего на производстве систематизированного метода FMEA является выявление возможных отказов производственного оборудования, а также влияния этих отказов на функционирование объекта или процесса, окружающую среду и персонал. Это позволяет повысить безотказность работы производственного оборудования, снизить воздействие на окружающую среду, снизить эксплуатационные расходы и в итоге повысить деловую репутацию предприятия. Метод FMEA получил широкую известность и в использовании только при оценке *технических рисков*. Достоинством методов Байесовского анализа и сети Байеса является возможность разработать вероятностную модель Пуассона для таких событий, как аварии с представлением причинно-следственных связей между переменными в виде сети Байеса. Однако на практике методы Байесовского анализа и сети Байеса применяются редко из-за сложности построения всех взаимодействий в сложной технической системе, что может стать вычислительно неразрешимым, когда условные вероятности становятся слишком большими. Представленные методы (FMEA Байесов-

¹ ГОСТ Р 27.303–2021 (МЭК 60812:2018). Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов (IEC 60812–2018. Failure modes and effects analysis (FMEA and FMEGA), MOD).

² ГОСТ Р МЭК 31010–2021. Надежность в технике. Методы оценки риска (IEC 31010:2019. Risk management — Risk assessment techniques, IDT).

кого анализа или сети Байеса) имеют следующие ограничения:

- для получения результатов выходных значений при оценке рисков требуется ввод параметров эмпирических данных, представленных в количественном значении;
- по использованию векторнаправленного подхода только для представления последовательности процесса прохождения операций в промежуточных блоках.

Отличительной особенностью выбора векторнаправленного подхода для оценки *организационных рисков* (ОР) является определение отклонения базисного вектора от направления к выбранной цели, а значит возможности у органа управления откорректировать маршрут в сторону вектора достижения цели. Определенную трудность для оценки организационных рисков представляет использование исходных данных в виде информации, которая не формализована, она представляет собой качественное описание [1].

Обозначена проблемная ситуация, заключающаяся в необходимости управления организационными рисками, проявляемыми в ОС (аварии и пожары), представленные выше обстоятельства характеризуются высокой степенью актуальности. Потребовалось обосновать предпочтительность использования на практике такого подхода для оценки организационных рисков, который бы в будущем имел перспективу в совершенствовании и развитии, возможности его использования на практике. Приведен пример, обосновывающий эффективность использования предложенного подхода на практике для оценки организационных рисков [14].

Теоретическое обоснование для решения научных задач

Для решения научных задач в проводимом исследовании требуется пояснить значение словосочетания: *состояние СКБ*. Под *СКБ* следует понимать совместную деятельность направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ), осуществляющих контроль в отношении персонала ПСП, которые созданы для защиты имущества, оборудования предприятия и окружающей природной среды от аварий и пожаров [15]. Для *состояния системы* подобрано близкое по смыслу определение, взятое из ГОСТа³, в котором под анализом *состояния* метрологического обеспечения объекта понимается способ исследования *свойств* метрологического обеспечения объекта с целью выработки решений, направленных на поддержание или повышение уровня метрологического обеспечения. Под *свойствами* системы понимается совокупность *параметров* системы, определяющих ее поведение [16]. На входе для описания данной системы будут использованы характеристики описываемых организационных рисков, которым на выходе, в процессе преобразования, будут присвоены результаты, представленные в количественном значении (мере влияния) (рис. 1).

На основе анализа статистики возникновения аварий и пожаров на ВПО предприятиях сделаны выводы, что возникающие в процессе функционирования таких предприятий организационные риски целесообразно рассматривать как риски причинения

³ ГОСТ Р 8.892–2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Анализ состояния на предприятии, в организации, объединении.

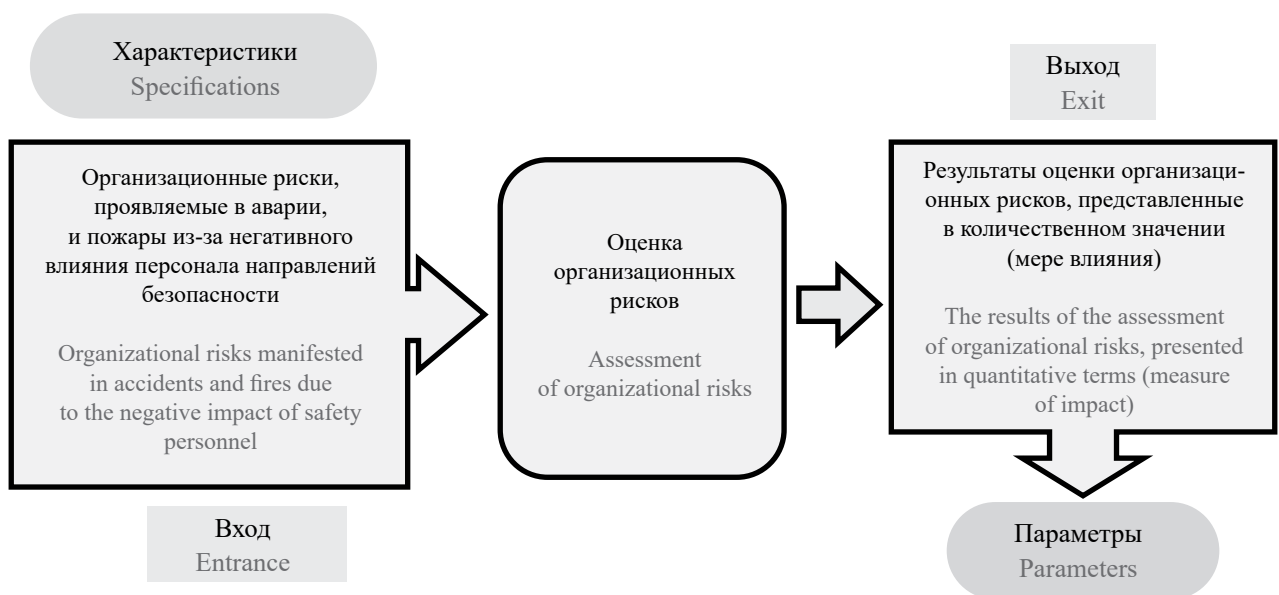


Рис. 1. Последовательность преобразования организационных рисков из качественных характеристик в параметры с числовыми значениями

Fig. 1. The sequence of transformation of organizational risks from qualitative characteristics to parameters with numerical values



Рис. 2. Подходы к построению общей методологии управления рисками
Fig. 2. Approaches to building a common risk management methodology

вреда (ущерба). Общее определение для такой категории рисков взято из Федерального закона⁴, в его содержании под *риском* причинения вреда (ущерба) предлагается рассматривать *вероятность наступления событий, следствием которых может стать причинение вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести охраняемым законом ценностям*. В данном определении ключевым словом указывается вероятность, для определения которой целесообразно учитывать не только степень наступления некоего негативного события, но и меру негативного проявления организационных рисков в конечные события как результат *причинения вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести*. Решение задачи, связанной с разработкой модели оценки организационных рисков, позволит учитывать динамику снижения вреда (ущербов) от ОС (аварий и пожаров) — U_{OC} , которые возникли из-за проявления рассматриваемой категории организационных рисков — R_O . Тогда:

$$\begin{aligned}
 U_{OC} &= F_{U_{OC}} \{R_O, P\} = \sum_{i=1}^n [F_{U_i}(R_{O_i}, P_i)] = \\
 &= \int_0^T C(R_O)P(R_O)dR_O = \int_0^T C(P)R_O(P)dP,
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

где P — вероятность возникновения ОС (аварий и пожаров);

n — количество отчетов об авариях, рассматриваемых за исследуемый период;

i — группы негативных факторов, влияющих на исход в виде ОС (аварий и пожаров);

T — период времени (месяц, квартал, год), рассматриваемый для аналитической выборки статистических данных об авариях;

C — весовые функции, учитывающие меру негативного проявления рисков.

По результатам анализа научных результатов, представленных в научных изданиях по управлению рисками, выделяется два отличающихся друг от друга методологических подхода: *классический* и *межотраслевой* (рис. 2) [14, 17]. При *классическом* подходе для формирования характеристик данных статистики возникновения ОС устанавливается закономерность или порядок, представляющие собой логические цепочки взаимодействия данных и результатов их выходных характеристик при факторных влияниях показателей друг на друга. При *отраслевом* подходе формируются исходные посыпки в виде отправных результатов, для которых опорным описанием наблюдаемого порядка является использование фундаментальных знаний, взятых из другой области исследований. Если представленные гипотетические наработки обладают достоверностью (правильностью) и обоснованностью (доказательностью), то это означает, что получен новый научный результат [18].

В представленной последовательности (рис. 2) в качестве входных данных выступают *характеристики* в виде организационных рисков, проявляемых в ОС (аварии и пожары) и наносящих ущерб (экономический, материальный, социальный), рассматриваемый как ущерб здоровью и жизни персонала

⁴ О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ (ст. 22).

предприятия и третьих лиц. На основе анализа статистики возникновения аварий и пожаров на ВПО предприятиях сделаны выводы, что возникающие в процессе функционирования ВПО предприятий организационные риски — R_o целесообразно рассматривать как риски причинения вреда (ущерба). Общее определение для такой категории рисков взято из Федерального закона⁴, в его содержании под *риском* причинения вреда (ущерба) предлагается рассматривать *вероятность наступления событий, следствием которых может стать причинение вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести охраняемым законом ценностям*. В данном определении ключевым словом указывается «вероятность», для определения которой целесообразно учитывать не только степень наступления некоего негативного события, но и меру негативного проявления организационных рисков в конечные события как результат *причинения вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести*. Решение задачи, связанной с разработкой модели оценки организационных рисков, позволит учитывать динамику снижения вреда (ущербов) от ОС (аварий и пожаров) — U_{OC} , которые возникли из-за проявления выделенной категории организационных рисков — R_o [19]. Усилиями сообщества ученых ИМАШ РАН были проведены исследования в техносферной безопасности [4], ими представлены результаты с перечнем параметров причин организационных рисков, в них выделены доли влияния с установленным значением для основных групп причин (табл. 1).

В табл. 1 выделена существенная область ($\approx 20\%$) для неизвестных групп причин организационных рисков, которые требуют изучения и конкретизации с обоснованным присвоением причины каждой группе. Автором статьи учтена специфика оценки организационных рисков в области ПрБ⁵, ПБ⁶, ОТ⁷, их рекомендовано рассматривать в двух направлениях:

- как недостаточные действия персонала направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ОУ ПСП), осуществляющего контроль в отношении персонала ПСП — $R_{ндд}$;
- как недоработки персонала при исполнении требований НПА и НД направлениями безопасности — $R_{нд}$.

⁵ Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: Приказ Ростехнадзора от 3 ноября 2022 г. № 387.

⁶ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533.

⁷ Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: Приказ Минтруда России от 28.12.2021 г. № 926.

Таблица 1. Параметры причин организационных рисков
Table 1. Parameters of the causes of organizational risks

Параметр организационного риска как причина Organizational risk parameter as the reason	Доля влияния параметра The share of the parameter's influence
Неиспользование знаний Not using knowledge	0,37
Недостаток знаний Lack of knowledge	0,27
Недостаток информации Lack of information	0,13
Ошибки лица, принимающего решение Mistakes of the Decision-maker	0,09
Неизвестные ситуации Unknown situations	0,05
Прочие причины Other reasons	0,09

Показатели для выявленных новых организационных рисков — R_{O_1} и R_{O_2} за исследуемый период могут быть получены по формуле:

$$R_{O_1}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} R_{ндд_i}(t)}{n_1}; R_{O_2}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} R_{нд_i}(t)}{n_2}, \quad (2)$$

где n_1 — количество отчетов (ед.) об авариях и пожарах за рассматриваемый период с нанесенными ущербами (материальным и экономическим (руб.), социальным (пострадавшими и погибшими (чел.)); n_2 — количество отчетов (ед.) об авариях за рассматриваемый период с нанесенными ущербами (материальным и экономическим); t — рассматриваемый период (месяц, квартал, год) [20]. В качестве веса (меры) для организационных рисков $R_{O_1}(t)$ и $R_{O_2}(t)$, которые обладают свойством проявляться в ОС, предложено рассматривать условный бит (усл. бит). Места возникновения организационных рисков R_{O_1} и R_{O_2} на предприятиях НГК России (рис. 3).

Функционирующая в настоящее время комплексная безопасность на предприятиях действует как система управления с трехступенчатой всеерной структурой, связи в которой могут быть описаны математически [20]. В такой системе управления к привилегированным относятся направления безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ), которые осуществляют контроль в отношении персонала ПСП. А деятельность руководства предприятия для достижения цели по устойчивому функционированию предприятия будет описана как:

$$F(x_1, \dots, x_N, y_1, \dots, y_N) \rightarrow \max, \quad (3)$$

где x_i — управляющие воздействия, которые вырабатаны органом управления предприятия по отношению к направлениям безопасности на основе

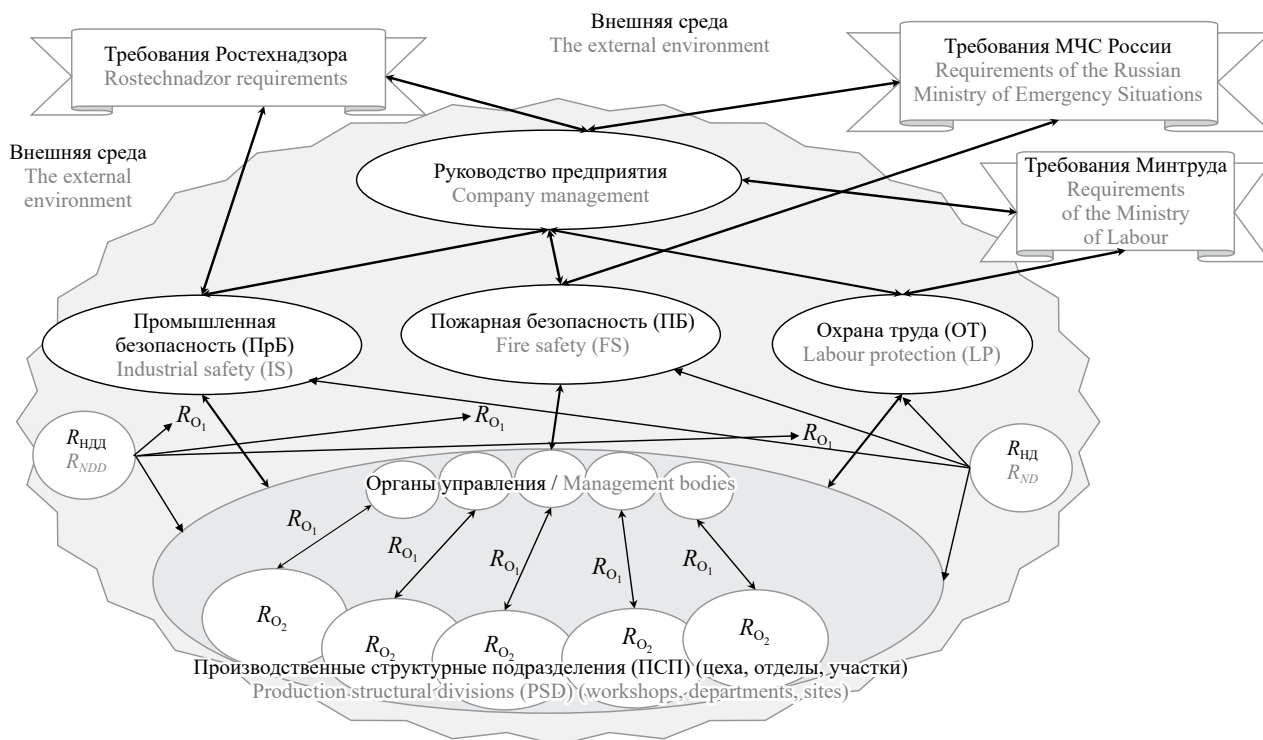


Рис. 3. Места возникновения организационных рисков R_{O_1} и R_{O_2}

Fig. 3. Locations of organizational risks R_{O_1} and R_{O_2}

интуитивных соображений. Сами же направления безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ) в результате имеющегося в их распоряжении арсенала требований НПА и НД, узаконенных ведомствами (Ростехнадзором, МЧС России, Минтрудом и т.д.), имеют в собственном распоряжении цели — y_i . Такая связь будет представлена в виде:

$$f_i(x_i, y_i) \rightarrow \max_{i=1, \dots, N} \quad (4)$$

Таким образом, деятельность независимых направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ и т.д.) будет определяться приоритетом в достижении собственных целей — y_i , а значит пренебрежительным отношением к результатам достижения целей во взаимодействующих направлениях безопасности. Связи для органа управления и управляемых направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ и т.д.) в такой системе управления представлены на рис. 4.

Для оптимального управления в рассматриваемой иерархической системе управления предполагается иметь в виду такой выбор x_i , который бы учитывал интересы каждого из направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ и т.д.) и обеспечивал при данных значениях функции f_i (4) максимизацию целевой функции (5). Выходом из положения становится создание ОУ СКБ как промежуточного звена между 1 и 2-м уровнями управления. Тогда целевая функция руководства предприятия будет иметь вид:

$$F = F_i(x_i, y_i) \quad (5)$$

Управляющее воздействие ОУ СКБ для направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ и т.д.) будет представлено в виде:

$$f = f_i(x_1, \dots, x_k, \dots, y_1, \dots, y_k) \quad (6)$$

где $x_1, \dots, x_k, \dots, y_1, \dots, y_k$ — управляющие воздействия, которые выработаны ОУ СКБ, который уполномочен воздействовать на направления безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ и т.д.) (рис. 5).

Целевые функции по управлению подразделениями в нижней ступени управления будут представлены в виде:

$$\varphi_{ij} = \varphi_{ij}(y_{ij}, z_{ij}), \quad i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, N_i \quad (7)$$

где z_{ij} характеризуют деятельность в структурных подразделениях предприятий. Здесь целесообразно рассматривать в сравнении функционирующую в настоящее время комплексную безопасность в виде деятельности функционирующих автономных направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, РС ПСП) и деятельности СКБ (рис. 4, 5). Автором статьи представлены обоснования, что созданная на ВПО предприятиях СКБ переводит безопасность на новый качественный уровень функционирования на основе *эмерджентности* (когда выявлены новые свойства при создании СКБ на ВПО предприятиях которыми ранее функционирующая система безопасности не обладала) [21].

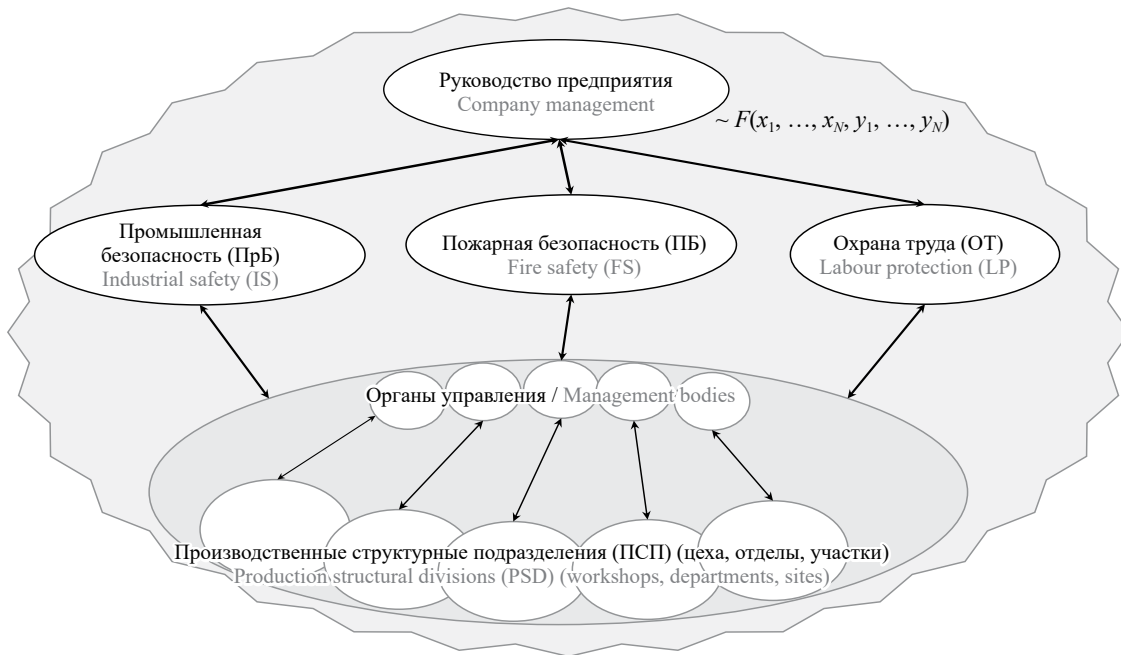


Рис. 4. Связи в существующей на предприятиях системе управления безопасностью
Fig. 4. Communications in the company's existing security management system

Все изменения, происходящие в организационных системах управления, могут быть представлены в виде траектории процесса протекания (возникновения, проявления, реализации) организационных рисков — R_0 в пространстве состояний СКБ с зонным выделением границ (рис. 6).

1. Зона, выделенная зеленым цветом, в которой все производственные процессы в технической системе

осуществляются без нарушений, относится к зоне с состоянием S_0 .

2. Зона, выделенная желтым цветом, относится к зоне возникновения организационных рисков $R_{НДД}$ и $R_{НД}$, которые при благоприятных условиях могут проявиться в опасные события (аварии или пожары), с состоянием S_0 .

3. Зона, выделенная красным цветом, в которой организационные риски $R_{НДД}$ и $R_{НД}$ стали причинами

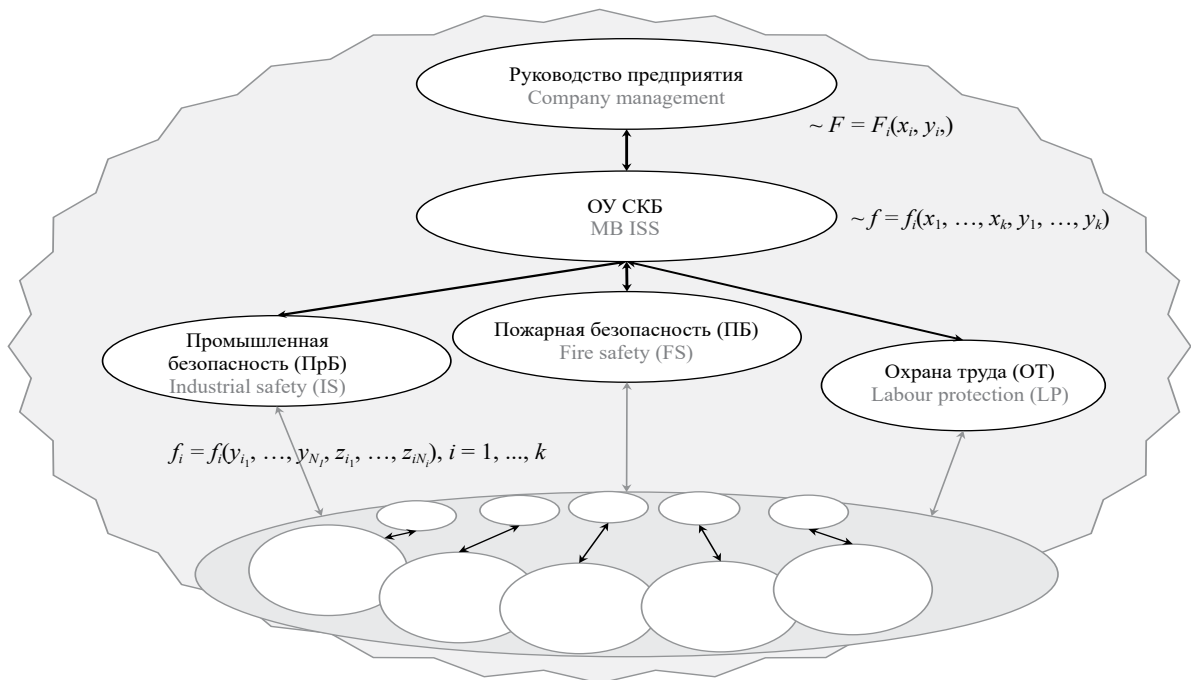


Рис. 5. Предлагаемая на предприятиях система управления безопасностью
Fig. 5. The security management system offered at the enterprise

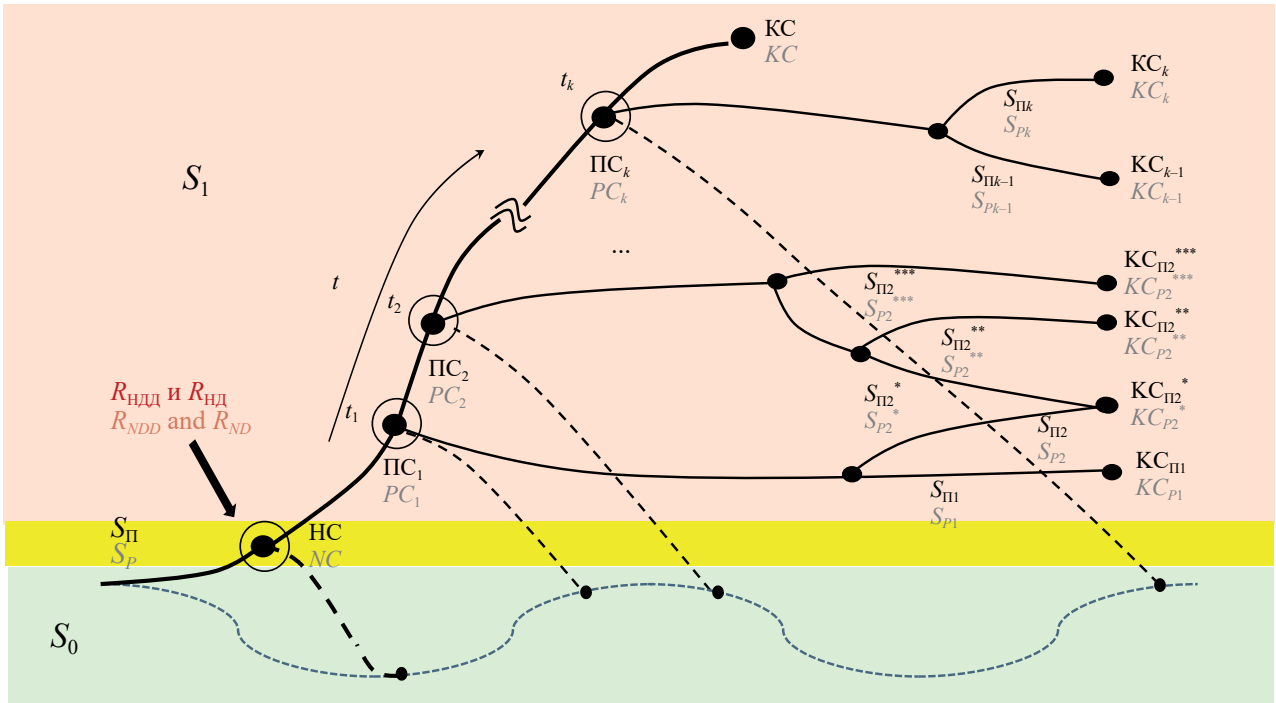


Рис. 6. Траектория с процессом возникновения и проявления организационных рисков в опасные события
Fig. 6. A trajectory with the process of the emergence and manifestation of organizational risks in dangerous events

возникновения (аварий или пожаров), относится к зоне протекания различных сценариев нанесения ущерба от опасных событий, с состоянием S_1 . Если в организационной системе происходит начальное событие — НС, т.е. возникли организационные риски R_{HDD} и R_{HD} , были созданы условия для отклонения в направлении зоны с состоянием S_1 , то в технической системе может протекать множество разных сценариев нанесения ущерба S_{ij} . Конечное состояние КС для каждого из сценариев отличается между ними:

$$КС_{ij} \neq КС_{ij}^* \tag{8}$$

Если при возникновении инцидента, отказа *техническая* система имеет возможность вернуться из состояния S_1 в состояние S_0 за кратчайший временной промежуток, то при возникновении аварий в 20 % случаев возникают пожары, которые наносят максимальные ущербы и выводят из строя элементы технической системы на длительный срок. Здесь имеется возможность предупреждать возникновение организационных рисков в зоне с состоянием $S_{П1}$, а при их проявлении с переходом в зону с состоянием S_1 (точки t_1, t_2, t_k) проводить комплекс защитных мероприятий.

Методы использования ортогональных систем для оценки организационных рисков

В теоретических основах электротехники (ТОЭ) для проведения расчетов по определению мгновенного значения таких характеристик, как ток или напря-

жение, решаются задачи с отображением на плоскости направленных векторов на основе использования метода передаточных функций (МПФ), его использование позволяет решать также задачи в области управления организационными рисками. Автором статьи уже были обоснованы подходы по использованию знаний, полученных в электротехнике для оценки рисков в организационных системах [22], для получения научного эффекта потребовалось их развитие при использовании теории ортогональности систем, описанной в работе [23]. Ортогональность часто используется в различных областях математики, например в различных преобразованиях и матрицах. Скалярным произведением функций $f(x)$ и $g(x)$, непрерывных и интегрируемых с квадратом на $[a, b]$, называется:

$$(f, g) \int_a^b \rho(x) f(x) g(x) dx, \tag{9}$$

где $\rho(x)$ — непрерывная весовая функция, отображающая показатели влияния для снижения рисков, отображенных на плоскости (a, b) , которые принадлежат пространству $L^2(R)$ с изменчивостью значений показателей отложенных на действительной шкале вещественных чисел — *Re*. При скалярном произведении будем считать справедливыми следующие свойства:

$$1) (f_1, f_2) = (f_2, f_1);$$

$$2) (\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2, g) = \alpha_1 (f_1, g) + \alpha_2 (f_2, g);$$

$$3) (f, f) = \int_a^b \rho(x) f^2(x) dx \geq 0, \rho(x) > 0.$$

Функции $f(x)$ и $g(x)$ будут ортогональными, если их скалярное произведение $(f, g) = 0$. Обратной для функции ортогональности $f(x)$ будет рассматриваться нормируемая ортогональность в виде: $f(x) = \sqrt{(f, f)}$. Показателями такой функции в области управления организационными рисками является их полный набор с проявлением в опасные события (аварии и пожары). Отсюда функцией с показателями снижения рисков на плоскости (a, b) будем считать *нормируемую функцию*, при записи следующего условия для нормы $\|f(x)\| \rightarrow 1$ [24]. Функции $f(x)$ и $g(x)$ для случая полного набора всех организационных рисков, воздействующих на СКБ, и отсутствия воздействия на них со стороны направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) будем считать ортогональными при условии их скалярного произведения $(f, g) = 0$, а показатель, влияющий на снижение рисков $\lambda(x) > 0$, тогда:

$$(f, g) \int_a^b \frac{\lambda(x)}{1 + f(x)g(x)} dx. \quad (10)$$

Система функций $\varphi_n(x)$, $n = 1, 2, \dots$ называется ортогональной, если:

$$(\varphi_n, \varphi_m) = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ \neq 0, & n = m \end{cases}$$

Для оценки организационных рисков примером ортогональных систем функций $\varphi_n(x) = \sin nx$, $\cos nx$ с весом $\lambda(x) \rightarrow 1$ на отрезке $[0, \frac{T}{4}]$ будет график на рис. 7.

В источнике информации по математической статистике [25] при выборке, ограниченной 3–4 ед. зависимыми показателями качественных характеристик, считается предпочтительным использовать средний показатель, отражающий типичный уровень признака, формирующийся под воздействием доминирующих неслучайных факторов, т.е. использовать нормальное распределение. Применение средних величин позволяет охарактеризовать определенный признак совокупности одним числом, несмотря на то, что у разных единиц совокупности значения признака отличны друг от друга. Учитывая наличие неопределенности при вычислении оценок исследуемых параметров по вербальной шкале, для выбора наиболее предпочтительного весового значения было принято решение использовать компромиссный подход по выбору точечных значений, полученных по закону нормального распределения. Был использован компромиссный подход, в котором учитывался факт наличия ограниченного количества организационных рисков (3–4 ед.) в подразделе с организационными

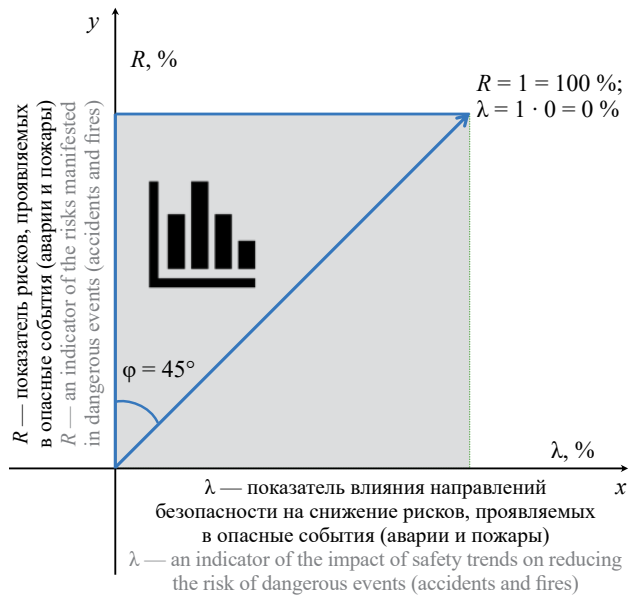


Рис. 7. График использования ортогональных систем для оценки организационных рисков

Fig. 7. Graph of the use of orthogonal systems for assessing organizational risks

причинами отчетов «Уроки, извлеченные из аварий» на предприятиях НГК России, считалось обоснованным учитывать неопределенность при вычислении оценок факторов и их весов при выборе экспертами предпочтительного решения. Считалось целесообразным использовать *шкалу отношений*, построенную на основе применения функционала действующих вероятностных законов, например распределения Гаусса, наделенного свойством проявления конкретных значений признака организационного риска для всей площади = 100 %, для ее частей, ограниченных пределами: $\bar{x} \pm \sigma = 68,2 \%$; $\bar{x} \pm 2\sigma = 95,4 \%$; $\bar{x} \pm 3\sigma = 99,6 \%$ [1]. Анализ статистики совместных опасных событий (аварий и пожаров) на ВПО предприятиях подтверждает факт возникновения и проявления организационных рисков с показателем, составляющим в среднем 20 % от общего объема выборки (рис. 8).

Необходимо вести учет первопричинных факторов возникновения и проявления организационных рисков из-за недостаточных действий и недоработок персонала направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП). Требуется создавать систему комплексной безопасности (СКБ), для которой в настоящее время и в соответствии с законодательством РФ не определен порядок создания. Требуется использовать модели для преобразования характеристик с качественно описанными организационными рисками в параметры с их представлением в количественном виде. Перенесем область рисков, выявленных на основе статистики аварий и пожаров на ВПО предприятиях, на пространство с выделением обозначенной области ($\approx 20 \%$, рис. 7) на графике (рис. 9).

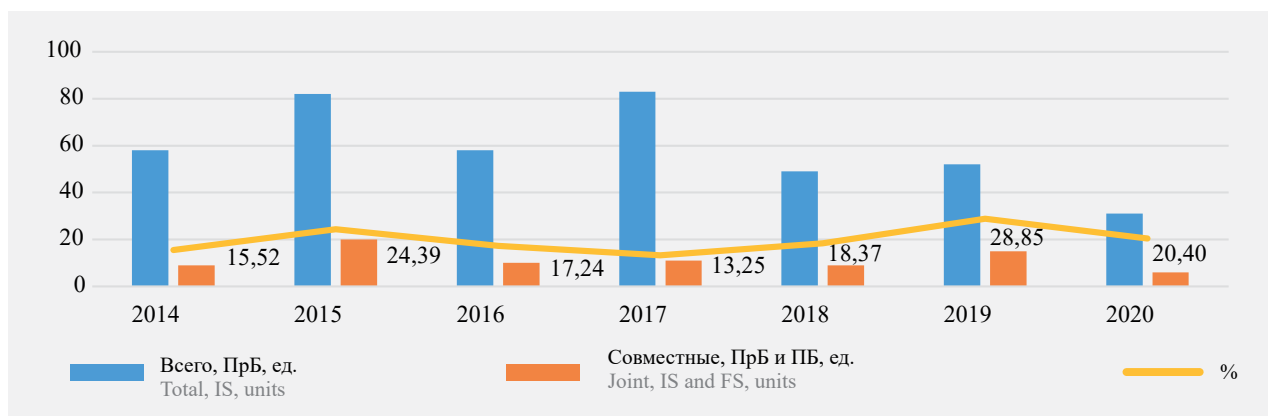


Рис. 8. Статистика аварий и пожаров на взрывопожароопасных предприятиях

Fig. 8. Statistics on accidents and fires at explosion and fire hazardous enterprises

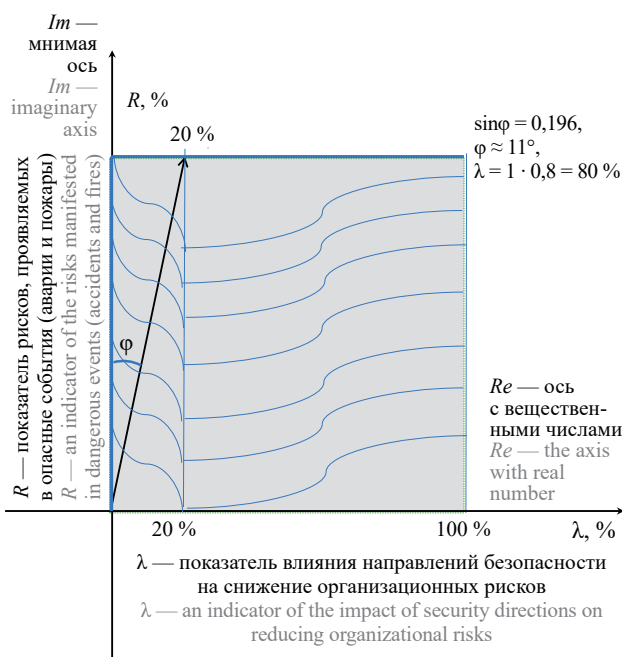


Рис. 9. Выделенная доля с рисками, проявляемыми в опасные события (аварии и пожары)

Fig. 9. The allocated share with risks manifested in dangerous events (accidents and fires)

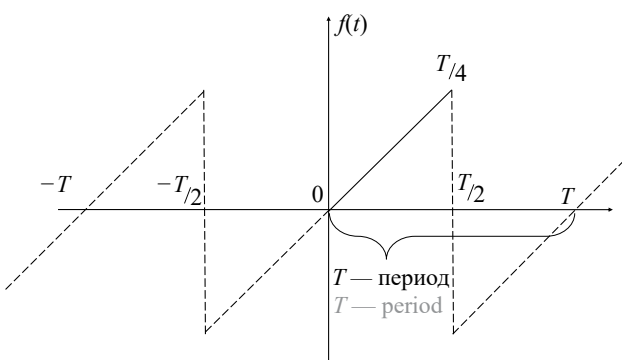


Рис. 10. Общее представление использования ортогональных систем для управления автоматизацией процессов

Fig. 10. Overview of the use of orthogonal systems for process automation management

Воспользуемся разработками с общим использованием ортогональных систем в автоматизированном управлении [26]. Общее представление об использовании ортогональных систем для управления автоматизированными системами представлено на рис. 5. Здесь целесообразно рассматривать случай, когда периодическая функция $f(t)$ будет задана направленным вектором $(0, t)$ в выделенном интервале $[0, \frac{T}{4}]$ при условии $f(t) = t$ (рис. 10). Для использования направленного вектора в решении задач по оценке организационных рисков привязывается каждый показатель влияния направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) к анализируемому году в виде дискретной периодической функции, т.е. нас будет интересовать интервал с отрезком $[0, \frac{T}{4}]$.

При условии $a = 1$, $b \in (0,01 - 0,99)$:

$$f_1(t) = \sum_{\lambda=0,01}^{0,99} b_\lambda \sin \lambda \frac{\pi T}{4} t, \text{ где}$$

$$b_k = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} t \sin \lambda \frac{\pi T}{4} dt = \frac{4}{T k \frac{\pi T}{4}} \left[-t \sin \lambda \frac{\pi T}{4} t \Big|_0^{T/4} + \int_0^{T/4} \sin \lambda \frac{\pi T}{4} t dt \right] = \frac{8}{T \lambda \pi} \left[-\frac{T}{4} \sin \frac{\lambda \pi T}{4} + \frac{\lambda \pi T}{4} \sin \frac{\pi T}{4} \Big|_0^{T/4} \right] = \frac{8}{T \lambda \pi} \left[-\frac{T}{4} \sin \frac{\lambda \pi T}{4} + \frac{T}{4} \sin \frac{\pi T}{4} \right] = \sin \frac{\pi T}{2} - \sin \frac{\lambda \pi T}{2} = 1^{(1-\lambda)},$$

где $\lambda = (0,01 - 0,99)$ — показатель эффективности влияния направления безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) на общее состояние СКБ.

Такой подход дает теоретическую возможность в разработке обоснованной расчетной формулы для оценки организационных рисков за счет использования нормортогональной системы. Данное обстоятельство позволяет определять интегральный показате-

тель влияния каждого из направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) при условии разложения частных функций для них с привязкой к выборке за конкретный год $t = 1$ год. Тогда:

$$f(t) = \frac{f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t)}{n}$$

Пример с представлением результатов оценки организационных рисков

Для решения задачи потребовалось привлечь группу экспертов, имеющих практический опыт работы на ВПО предприятиях, состав которых бы смог обеспечить требуемое влияние суждения индивидуального эксперта на групповую оценку [27]. При обработке данных от экспертов в каждом анализируемом отчете об аварии формируются показатели (коэффициенты) негативного воздействия организационных рисков — R_0 для направлений (ПрБ, ПБ, ОТ, РС ПСП) по формуле:

$$S_i\tau = (\Delta S_1 + \dots + \Delta S_4)\tau, \tag{11}$$

где $\Delta S_1 = 4 - \sum_i \lambda_{ВЛ} S_i, i = 2, 3, 4; \Delta S_2 = 4 - \sum_i \lambda_{ВЛ} S_i, i = 1, 3, 4; \Delta S_3 = 4 - \sum_i \lambda_{ВЛ} S_i, i = 1, 2, 4; \Delta S_4 = 4 - \sum_i \lambda_{ВЛ} S_i, i = 1, 2, 3,$

Таблица 2. Соотношение результатов оценок измерений из вербальной шкалы в шкалу порядка
Table 2. The ratio of measurement evaluation results from the verbal scale to the scale of order

Вербальная шкала принадлежности направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) к возникновению ОС (авария и пожар) The verbal scale of belonging of the directions of safety (IS, FS, LP, PPD) to the occurrence of DE (accident and fire)	Шкала порядка на основе вероятностного распределения Гаусса при условии 100 % = 1 An order scale based on a probability distribution of Gaussian, provided 100 % = 1
Имеет непосредственное отношение It is directly related to	68,2 % = 0,682
Имеет опосредованное отношение Has an indirect relationship	27,2 % = 0,272
Имеет косвенное отношение Has an indirect relation	4,6 % = 0,046

Таблица 3. Результаты негативного воздействия направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) на общее состояние СКБ
Table 3. The results of the negative impact of the safety directions (IS, FS, LP, PPD) on the general condition of the ISS

Службы Services	Годы Years	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
ОТ / LP		0,06	0,07	0,05	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
ПрБ / IS		0,16	0,08	0,17	0,04	0,09	0,10	0,06	0,09	0,07
ПБ / FS		0,10	0,15	0,03	0,14	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00
ПСП / PPD		0,69	0,7	0,75	0,78	0,86	0,84	0,94	0,91	0,93

где значение 4 является суммой показателей влияния всех направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) для идеальной СКБ, в которой опасных событий не происходит; $\lambda_{ВЛ}$ — показатели эффективности влияния направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) на общее состояние СКБ — S_i , которая оценивается за выбранный (год, месяц) период — τ . Тогда значения показателей влияния для каждого направления безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) — $\Delta S_i, i = 1, 2, 3, 4$, будут определяться по формуле:

$$\lambda_{ВЛ S_1}^* = (1 - K_{В03 S_1}^*); \lambda_{ВЛ S_2}^* = (1 - K_{В03 S_2}^*); \tag{12}$$

$$\lambda_{ВЛ S_3}^* = (1 - K_{В03 S_3}^*); \lambda_{ВЛ S_4}^* = (1 - K_{В03 S_4}^*),$$

где $K_{В03 S_i}^*, i = 1, 2, 3, 4$ — коэффициент негативного воздействия организационных рисков $R_{НД}$, возникших и проявившихся в ОС из-за недостаточных действий при осуществлении мероприятий по контролю направлениями безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ) в отношении персонала ПСП.

Значения показателей влияния для каждого направления безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) — $S_i^{**}, i = 1, 2, 3, 4$, будут определяться по формуле:

$$\lambda_{ВЛ S_1}^{**} = (1 - K_{В03 S_1}^{**}); \lambda_{ВЛ S_2}^{**} = (1 - K_{В03 S_2}^{**}); \tag{13}$$

$$\lambda_{ВЛ S_3}^{**} = (1 - K_{В03 S_3}^{**}); \lambda_{ВЛ S_4}^{**} = (1 - K_{В03 S_4}^{**}),$$

где $K_{В03 S_i}^{**}, i = 1, 2, 3, 4$ — показатели негативного воздействия организационных рисков — $R_{НД}$, возникших и проявившихся в ОС из-за недоработок персонала направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) при исполнении требований НПА и НД.

Представленная информация (рис. 5) подтверждает возможность сосредоточить внимание на те организационные риски, которые возникли в направлениях безопасности и имеют высокий коэффициент негативного воздействия [1, 22, 23]. Разработана шкала отношений для получения результатов с количественными значениями (табл. 2) [2].

Итоговое расчетное значение, представляющее собой результат работы персонала НБ (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП), рассчитывалось с помощью разработанной формулы (14). Получены результаты оценки деятель-

Таблица 4. Результаты влияния направлений безопасности (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) на общее состояние СКБ

Table 4. The results of the influence of the safety directions (Pb, PB, OT, PSP) on the general condition of the ISS

Годы Years	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Службы Services									
ОТ / LP	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33
ПрБ / IS	0,28	0,31	0,28	0,32	0,30	0,30	0,31	0,30	0,31
ПБ / FS	0,30	0,28	0,32	0,29	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33
ПСП / PPD	0,10	0,10	0,08	0,07	0,05	0,05	0,02	0,03	0,02

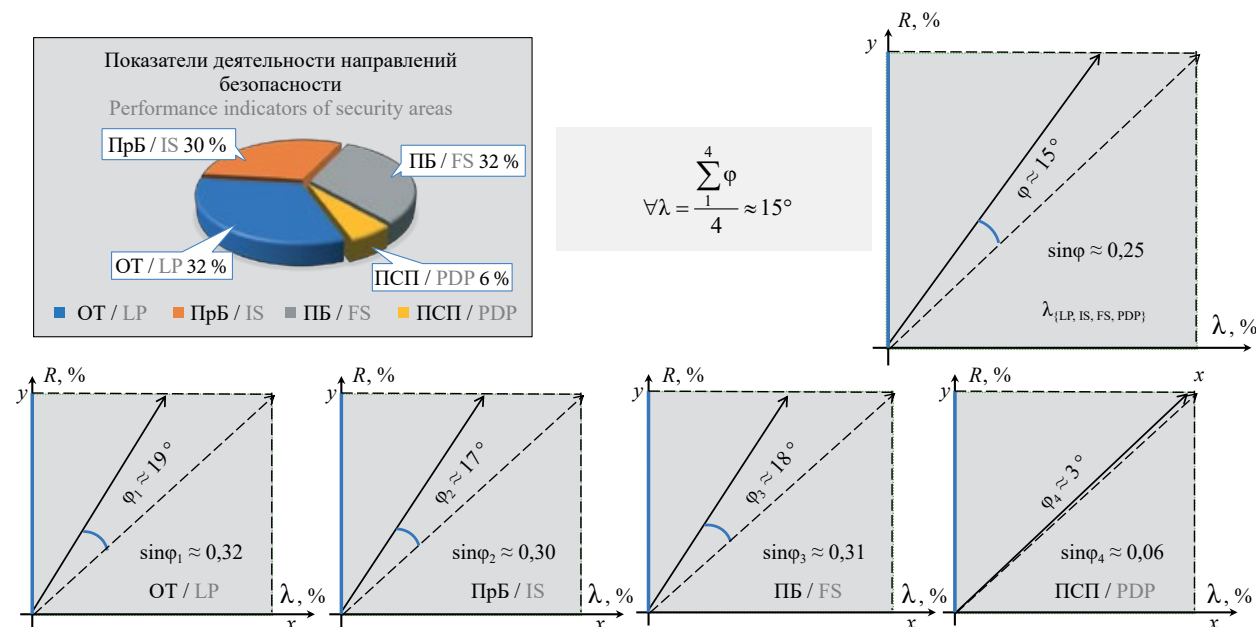
**Рис. 11.** Общий показатель деятельности направлений безопасности

Fig. 11. General indicator of the activity of security areas

ности НБ (ПрБ, ПБ, ОТ, РС ПСП), которые для каждого из них представлены в виде $K_{\text{Воз}}$ на ВПО предприятиях (табл. 3).

Показатели влияния НБ (ПрБ, ПБ, ОТ, ПСП) для повышения состояния СКБ на ВПО предприятиях рассчитывались на основе использования формулы (11), представлены выходными значениями (табл. 4).

Полученные результаты (табл. 4) могут быть представлены в виде направленного вектора, который отображает состояние СКБ за оцениваемый период (рис. 11), состояние для которой необходимо ежегодно повышать (рис. 7).

Выводы

Исследование посвящено снижению ущерба на ВПО предприятиях за счет оценки и управления организационными рисками, возникающими из-за недостаточных действий и недоработок персонала, обеспечивающего качественное функционирование СКБ. Проведен анализ ретроспективной, текущей и экспертной информации в области безопасного функционирования предприятий, аргументирована

целесообразность в научно-практической реализации риск-ориентированного подхода. При использовании векторной направленности для оценки рисков в СКБ на ВПО предприятиях появляется возможность посчитать эффект от проводимых мероприятий по снижению организационных рисков при рассмотрении общего количества аварий (рис. 10) с использованием соотношений:

$$\frac{\sin \varphi = 15 \%}{\sin \varphi = 45 \%} \cdot 100 \% = \frac{0,25}{0,707} \cdot 100 \% \approx 35 \%,$$

где эффект с показателем 35 % рассматривается в виде динамики влияния направлений безопасности на общее состояние СКБ.

Если в общей системе комплексной безопасности, имеющей множество различных (технических, организационно-технических и организационных) рисков, рассматривать наличие 100 % рисков, а для организационных рисков рассматривать около 20 % всех аварий и пожаров (рис. 7), то эффект от проводимых мероприятий по снижению организационных рисков на ВПО предприятиях будет составлять $35\%/5 = 7\%$.

Такой существенный показатель позволяет сэкономить многомиллиардные средства материально-производственного комплекса ВПО предприятий. Система СКБ, которая наделена новыми свойствами для снижения ущербов от аварий и пожаров, обладает возможностью диагностировать проблемные ситуации через оценку организационных рисков, соответственно, в оперативном порядке их выявлять и предупреждать. Представлено обоснование с перспективной возможностью развить новое направление по оценке организационных

рисков на ВПО предприятиях с помощью нормортгональной модели, данное обстоятельство позволяет выявлять и предотвращать проявление организационных рисков, а значит снижать нанесение различных ущербов (экономических, материальных, социальных) на ВПО предприятиях от аварий и пожаров. Все вышеизложенное указывает на социально-экономическую важность управления комплексной безопасностью на взрывопожароопасных предприятиях в России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Гвоздев Е.В.* Оценка организационных рисков в системе комплексной безопасности на взрывопожароопасных предприятиях с использованием экспертного метода // Технологии техносферной безопасности. 2025. № 2 (108). С. 46–61. DOI: 10.25257/TTS.2025.2.108.46-61. EDN ROZXES.
2. *Гвоздев Е.В.* Методика оценки рисков в системе комплексной безопасности, предназначенной для предупреждения аварий и пожаров на взрывопожароопасных предприятиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and explosion safety. 2025. № 34 (1). С. 59–69. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.01.59-69. EDN QBBVIK.
3. *Mkrtchyan L., Sansavini G., Straub U., Giachino M., Kocher T.* Insurability risk assessment of oil refineries using Bayesian Belief Networks // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2022. No. 74. DOI: 10.1016/j.jlp.2021.104673. EDN UCLFFE.
4. *Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адушкин В.В., Акимов В.А., Алешин А.В., Алешин Н.П. и др.* Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты // Научные основы техногенной безопасности. М. : Знание, 2015. 935 с. EDN UFPJBT.
5. *Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г., Романов А.Н., Архипов В.Е., Ахметханов Р.С., Балашова А.В. и др.* Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения / под ред. Н.А. Махутова, Ю.Г. Матвиенко, А.Н. Романова. М. : Ленанд., 2018. 720 с. EDN YPBGTB.
6. *Гражданкин А.И.* Анализ опасностей и оценка риска крупных аварий в нефтегазовой и угольной промышленности : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2016. 340 с. EDN IPEFTK.
7. *Shargatov V.A., Sumskoi S.I., Pecherkin A.S.* Simulation of gas release from pipelines using a new numerical method based on the Godunov approach // Journal of Physics: Conference Series. 2019. No. 1205. P. 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1205/1/012050. EDN UHNXAG.
8. *Оксман В.С., Ткаченко В.М., Фоминцова А.В., Гражданкин А.И.* О методическом обеспечении совершенствования государственного надзора за состоянием промышленной безопасности на объектах ведения горных работ, металлургических производств и обращения взрывчатых материалов // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 5. С. 26–35. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-5-26-35. EDN USPYYF.
9. *Порошин А.А., Удавцова Е.Ю., Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Харин В.В.* Оценка уровня пожарной опасности объектов промышленности на основе статистических методов // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 3. С. 12–17. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-3-12-17. EDN JFAOHU.
10. *Vishnevsky V.P., Matyushin A.V., Stel'makhova N.V.* Tax Regulation of Economic Growth in the Context of Post-Crisis Recovery: Problems and Prospects // Studies on Russian Economic Development. 2025. Vol. 36 (1). Pp. 66–76. DOI: 10.1134/S1075700724700539. EDN RSSKTK.
11. *Денисов А.Н., Порошин А.А., Данилов М.М., Власов К.С., Мешалкин Е.А., Шевцов М.В.* Генезис развития, современные реалии научно-методического и нормативного правового обоснования понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар» // Пожаровзрывобезопасность/Fire and explosion safety. 2025. № 34 (2). С. 5–19. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.5-19. EDN XVYUPE.
12. *Akimov V., Bedilo M., Derendiaeva O., Ivanova E., Oltyan I.* Forecast of natural emergency situations with modern methods // Reliability: Theory & Application. 2022. No. S4 (70). Pp. 71–77. DOI: 10.24412/1932-2321-2022-470-71-77. EDN NHARCO.
13. *Akimov V., Ivanova E., Oltyan I.* Statistical models for forecasting emergency situations of a biological and social character. Reliability: Theory & Applications. 2023. No. 4 (76). С. 41–45. DOI: 10.24412/1932-2321-2023-476-41-45
14. *Гвоздев Е.В.* Методология рационально-целевого развития системы комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России : дис. ... д-ра техн. наук. 2023. 257 с. EDN PIFCBH.
15. *Гвоздев Е.В.* Обоснование целесообразности создания системы комплексной безопасности на взрывопожароопасных предприятиях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 102–118. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2024-4-102-118. EDN AVIMVQ.

16. Gvozdev E.V. A rational-targeted model for the development of an integrated safety and security system at oil and gas enterprises in Russia // *Real Estate: Economics, Management*. 2023. No. 1. Pp. 33–38. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-1-33-38. EDN TBGRUN.
17. Angermeier D., Wester H., Beilke K., Hansch G., Eichler J. Security Risk Assessments: Modeling and Risk Level Propagation // *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. 2023. No. 7 (1). Pp. 1–25. DOI: 10.1145/3569458
18. Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А. Математические модели организаций : уч. пос., изд. 2-е, стереотип. М. : ЛЕНАНД, 2019. 360 с.
19. Гвоздев Е.В. Анализ критериев и методов оценки организационных рисков на взрывопожароопасных предприятиях // *Безопасность труда в промышленности*. 2025. № 7. С. 48–55. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-7-48-55. EDN BBJSON.
20. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа : уч. пос., изд. 3-е, доп. // *Синергетика: от прошлого к будущему*. М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. № 55. 532 с.
21. D'Este P., Robinson-García N. Interdisciplinary research and the societal visibility of science: The advantages of spanning multiple and distant scientific fields // *Research Policy*. 2023. No. 52 (2). P. 104609. DOI: 10.1016/j.respol.2022.104609. EDN YSGENA.
22. Гапанович И.В., Лантева У.В., Николаева Д.Р. Математические основы информационных систем : уч. пос. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. 295 с. EDN FPGSSG.
23. Гвоздев Е.В. Управление комплексной безопасностью предприятий нефтегазового комплекса России с использованием метода комплексных чисел // *Безопасность труда в промышленности*. 2023. № 5. С. 46–51. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-5-46-51. EDN ENTDND.
24. Благовещенская Е.А., Гарбарук В.В., Родин В.И. Математические модели динамических звеньев : практикум по моделированию. СПб. : Петербургский государственный университет, 2021. 38 с. EDN GKTNIA.
25. Сизова Т.М. Статистика : учеб. пос. СПб. : СПб НИУ ИТМО, 2013. 176 с. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1332.pdf>
26. Будин В.И. Математические основы автоматики и управления : уч. пос. для студентов технических ВУЗов. Самара : Самарский государственный технический университет, 2016. 119 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_011274364/?ysclid=mj6hxp1xu179220627
27. Androshchuk A., Yevseiev S., Melenchuk V., Lemeshko O., Lemeshko V. Improvement of project risk assessment methods of implementation of automated information components of non-commercial organizational and technical systems // *Eureka: Physics and Engineering*. 2020. No. 1. Pp. 48–55. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001131. EDN GYWITG.
28. Кабанов Е.И. Экспертная система для комплексной экспресс-оценки и прогноза риска аварий и профессиональных рисков на угольных шахтах // *Горный информационно-аналитический бюллетень : научно-технический журнал*. 2019. № S7. С. 78–86. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-78-86. EDN ZUKIOD.
29. Unver S., Ergenc I. Safety risk identification and prioritize of forest logging activities using analytic hierarchy process (AHP) // *Alexandria Engineering Journal*. 2021. No. 60 (1). Pp. 1591–1599. DOI: 10.1016/j.aej.2020.11.012. EDN JQZEVU.

REFERENCES

1. Gvozdev E.V. Assessment of organizational risks in the integrated safety system at explosion- and fire-hazardous enterprises using the expert method. *Technology of technosphere safety*. 2025; 2(108):46-61. DOI: 10.25257/TTS.2025.2.108.46-61. EDN ROZXES. (rus).
2. Gvozdev E.V. Methodology of risk assessment in the system of integrated safety designed to prevent accidents and fires at explosion and fire-hazardous enterprises. *Pozharovzryvobezопасnost'/Fire and explosion safety*. 2025; 34(1):59-69. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.01.59-69. EDN QBBBIK. (rus).
3. Mkrtchyan L., Sansavini G., Straub U., Giachino M., Kocher T. Insurability risk assessment of oil refineries using Bayesian Belief Networks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2022; 74:104673. DOI: 10.1016/j.jlp.2021.104673. EDN UCLFFE.
4. Abrosimov N.V., Ageev A.I., Adushkin V.V., Akimov V.A., Aleshin A.V., Aleshin N.P. et al. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. *Scientific foundations of technogenic safety*. Moscow, Znanie, 2015; 935. EDN UFPJBT. (rus).
5. Makhutov N.A., Matvienko Yu.G., Romanov A.N., Arkhipov V.E., Akhmetkhanov R.S., Balashova A.V. et al. *Problems of Strength, Technogenic Safety, and Structural Materials Science* / ed. by N.A. Makhutov, Yu.G. Matvienko, A.N. Romanov. Moscow, Lenand, 2018; 720. EDN YPBGTB. (rus).
6. Grazhdankin A.I. *Hazard analysis and risk assessment of major accidents in the oil, gas and coal industries : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences*. Moscow, 2016; 340. EDN YPBGTB. (rus).

7. Shargatov V.A., Sumskoj S.I., Pecherkin A.S. Simulation of gas release from pipelines using a new numerical method based on the Godunov approach. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1205:012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1205/1/012050. EDN UHNXAG.
8. Oxman V.S., Tkachenko V.M., Fomintsova A.V., Grazhdankin A.I. On the methodological support for improvement of the state supervision over industrial safety conditions at objects of mining, metallurgical production, and explosive in use. *Occupational safety in industry*. 2024; 5:26-35. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-5-26-35. EDN USPYFF. (rus.).
9. Poroshin A.A., Udavtsova E.Yu., Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Kharin V.V. Assessment of fire hazard level of industrial objects based on the statistic methods. Assessment of the fire hazard level of industrial facilities based on statistical methods. *Occupational safety in industry*. 2020; 3:12-17. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-3-12-17. EDN JFAOHU. (rus).
10. Vishnevsky V.P., Matyushin A.V., Stel'makhova N.V. Tax Regulation of Economic Growth in the Context of Post-Crisis Recovery: Problems and Prospects. *Studies on Russian Economic Development*. 2025; 36(1):66-76. DOI: 10.1134/S1075700724700539. EDN RSSKTK.
11. Denisov A.N., Poroshin A.A., Danilov M.M., Vlasov K.S., Meshalkin E.A., Shevtsov M.V. Genesis of development, modern realities of scientific, methodological and normative legal substantiation of the concepts of "large fire", "complex (protracted) fire". *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and explosion safety*. 2025; 34(2):5-19. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.5-19. EDN XVYUPE. (rus).
12. Akimov V., Bedilo M., Derendiaeva O., Ivanova E., Oltyan I. Forecast of natural emergency situations with modern methods. *Reliability: Theory & Application*. 2022; S4(70):71-77. DOI: 10.24412/1932-2321-2022-470-71-77. EDN HHARCO. (rus.).
13. Akimov V., Ivanova E., Oltyan I. Statistical models for forecasting emergency situations of a biological and social character. *Reliability: Theory & Applications*. 2023; 4(76):41-45. DOI: 10.24412/1932-2321-2023-476-41-45
14. Gvozdev E.V. Methodology of rational-targeted development of an integrated security system at enterprises of the oil and gas complex of Russia : *dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences*. 2023; 257. EDN PIFCBH. (rus).
15. Gvozdev E.V. Justification of the expediency of creating an integrated safety system at explosive and fire-hazardous enterprises. *Problems of technosphere risk management*. 2024; 4(72):102-118. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2024-4-102-118. EDN AVIMVQ. (rus).
16. Gvozdev E.V. A rational-targeted model for the development of an integrated safety and security system at oil and gas enterprises in Russia. *Real Estate: Economics, Management*. 2023; 1:33-38. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-1-33-38. EDN TBGRUN.
17. Angermeier D., Wester H., Beilke K., Hansch G., Eichler J. Security Risk Assessments: Modeling and Risk Level Propagation. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. 2023; 7(1):1-25. DOI: 10.1145/3569458
18. Voronin A.A., Gubko M.V., Mishin S.P., Novikov D.A. Mathematical models of organizations : *textbook, 2nd ed., stereotype*. Moscow, LENAND, 2019; 360. (rus).
19. Gvozdev E.V. Analysis of organizational risk and assessment methods at explosion- and fire-hazardous enterprises. *Occupational safety in industry*. 2025; 7:48-55. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-7-48-55. EDN BBJSON. (rus).
20. Moiseev N.N. Mathematical Problems of Systems Analysis : a Tutorial, 3rd ed., suppl. *Synergetics: from past to future*. Moscow, LIBROKOM Book House, 2013; 532:55. (rus).
21. D'Este P., Robinson-García N. Interdisciplinary research and the societal visibility of science: The advantages of spanning multiple and distant scientific fields. *Research Policy*. 2023; 52(2):104609. DOI: 10.1016/j.respol.2022.104609. EDN YSGENA.
22. Gapanovich I.V., Lapteva U.V., Nikolaeva D.R. Mathematical Foundations of Information Systems : *a Tutorial*. Tyumen, Tyumen Industrial University, 2020; 295. EDN FPGSSG. (rus).
23. Gvozdev E.V. Integrated safety management of Russian oil and gas enterprises using the complex numbers method. *Occupational safety in industry*. 2023; 5:46-51. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-5-46-51. EDN ENTDND. (rus).
24. Blagoveshchenskaya E.A., Garbaruk V.V., Rodin V.I. Mathematical models of dynamic links : *Modeling workshop*. St. Petersburg, Petersburg State University, 2021; 38. EDN GKTNIA. (rus).
25. Sizova T.M. Statistics : *a textbook*. St. Petersburg, St. Petersburg National Research University ITMO, 2013; 176. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1332.pdf> (rus).
26. Budin V.I. Mathematical Foundations of Automation and Control : *a Textbook for Students of Technical Universities*. Samara, Samara State Technical University, 2016; 119. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_011274364/?ysclid=mj6xxp1xu179220627
27. Androshchuk A., Yevseiev S., Melenchuk V., Lemeshko O., Lemeshko V. Improvement of project risk assessment methods of implementation of automated information components of non-commercial organizational and technical systems. *Eureka: Physics and Engineering*. 2020; 1:48-55. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001131. EDN GYWITG.

28. Kabanov E.I. Expert system for the comprehensive express assessment of risk of accidents and occupational risks in coal mines. *Mining information and Analytical Bulletin : Scientific and Technical Journal*. 2019; S7:78-86. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-78-86. EDN ZUKIOD. (rus).
29. Unver S., Ergenc I. Safety risk identification and prioritize of forest logging activities using analytic hierarchy process (AHP). *Alexandria Engineering Journal*. 2021; 60(1):1591-1599. DOI: 10.1016/j.aej.2020.11.012. EDN JQZEVU.

Поступила 28.06.2025, после доработки 22.11.2025;

принята к публикации 24.11.2025

Received June 28, 2025; Received in revised form November 22, 2025;

Accepted November 24, 2025

Информация об авторе

ГВОЗДЕВ Евгений Владимирович, к.т.н., доцент, доцент кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; SPIN-код: 5787-2465; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru

Information about the author

Yevgeniy V. GVOZDEV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanization, Automation and Robotization of Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5787-2465; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru