

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024. Т. 33. № 3. С. 87–96
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024; 33(3):87-96

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.842.8

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.03.87-96>

Обоснование по выбору экспертного метода для проведения оценки состояния системы комплексной безопасности на производственных предприятиях

Евгений Владимирович Гвоздев ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье представлена система комплексной безопасности (СКБ), для которой получена количественная мера влияния подсистем промышленной и пожарной безопасности (ПрБ и ПБ), охраны труда (ОТ), производственных структурных подразделений (ПСП).

Цели и задачи. Цель настоящей статьи состоит в повышении состояния СКБ на предприятии за счет оценки влияния на нее персонала (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП), который выполняет должностные обязанности по обеспечению качественного функционирования рассматриваемой системы; для этого потребовалось решить две задачи.

Результаты решения задач. В ходе решения задачи № 1 представлено обоснование о предпочтительности использования метода расстановки приоритетов, который совместно с функционалом нормального распределения Гаусса позволяет решать задачи по выбору экспертами конкретной подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП), в которой имеются недоработки. В ходе решения задачи № 2 представлен пример, обосновывающий адекватность совместного применения рассматриваемого метода на практике.

Выводы. На основе системного анализа методов, используемых на практике, представлено обоснование по применению такого экспертного метода, с помощью которого получены количественные значения, отображаемые в виде коэффициента влияния, что указывает на определенные отклонения и позволяет откорректировать модель управления персоналом (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП).

Продemonстрирован пример, позволяющий доказать адекватность использования метода оценки состояния СКБ, созданной на производственном предприятии.

Применение разработанной модели развития СКБ на производственных предприятиях России позволяет на практике решать проблему по снижению ущерба от аварий и пожаров в рассматриваемой системе, т.е. решать проблему, имеющую важное социально-экономическое значение для России.

Ключевые слова: метод расстановки приоритетов; нормальное распределение Гаусса; коэффициент влияния; охрана труда; производственные структурные подразделения; экспертное решение

Для цитирования: Гвоздев Е.В. Обоснование по выбору экспертного метода для проведения оценки состояния системы комплексной безопасности на производственных предприятиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 3. С. 87–96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.03.87-96

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

Justification for the choice of an expert method for assessing the state of the integrated safety system at industrial enterprises

Evgeniy V. Gvozdev ✉

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

ABSTRACT

Introduction. The paper presents an integrated security system (ISS), for which a quantitative measure of the influence of subsystems of industrial and fire safety (IS and FS), labour protection (LP), production structural units (PSU) is obtained.

Goals and objectives. The purpose of the presented paper is to improve the state of the ISS at the enterprise by assessing the influence of personnel (IS and FS; LP; PSU) on it, which performs labour functions to ensure the quality functioning of the system under consideration, it was necessary to solve two problems.

Results. In the course of solving problem No. 1, the substantiation of the preferability of using the method of prioritisation is presented, which together with the Gaussian normal distribution functional, allows solving problems of experts choosing a specific subsystem (IS and FS; LP; PSU) in which there are drawbacks. In the course of solving

problem No. 2, an example substantiating the adequacy of the joint application of the considered method in practice is presented.

Conclusions. On the basis of the system analysis of the methods used in practice, the justification for the use of such an expert method is presented, with the help of which quantitative values are displayed in the form of the influence coefficient, which indicates certain deviations and allows to correct the personnel management model (IS and FS; LP; PSU).

An example is demonstrated that allows us to prove the adequacy of using the method of assessing the state of the ISS created at a manufacturing enterprise.

The application of the developed model for the development of the ISS at Russian manufacturing enterprises makes it possible in practice to solve the problem of reducing damage from accidents and fires in the system under consideration, i.e. to solve the problem of important socio-economic importance for Russia.

Keywords: prioritization method; normal Gaussian distribution; coefficient of influence; labour protection; production structural units; expert decision

For citation: Gvozdev E.V. Justification for the choice of an expert method for assessing the state of the integrated safety system at industrial enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(3):87-96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.03.87-96 (rus).

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

Введение

Анализ статистики аварий и пожаров на взрывопожароопасных производственных предприятиях (далее — ВПО предприятия) свидетельствует о том, что ежегодно на таких предприятиях происходит совместных опасных событий (аварий и пожаров) около 20 % от общего числа аварий, ущерб от которых составляет около 46 % от общего ущерба от аварий, такие события приводят к санитарным и безвозвратным потерям персонала и третьих лиц [1–3]. При возникновении аварий и пожаров, как правило, наносится существенный экономический ущерб, исчисляемый десятками миллионов рублей, а в случае временной потери устойчивого функционирования производственных предприятий, участвующих в процессе обеспечения жизнедеятельности населения, проживающего в городах, например, предприятие ПАО «Мосводоканал»; ПАО «Мосэнерго»; ПАО «МОЭК» и т.д., создаются неблагоприятные условия, представляющие угрозу для жизнеобеспечения населения.

Для предупреждения (предотвращения) аварий и пожаров на ВПО предприятиях в основном стало традицией создавать систему комплексной безопасности (далее — СКБ), в штатную структуру которой входит орган управления, а также состав специалистов и рабочих, обеспечивающих качественное функционирование ведомственных (отраслевых) подсистем промышленной безопасности (далее — ПрБ), пожарной безопасности (далее — ПБ), охраны труда (далее — ОТ). В рассматриваемую систему также входит персонал от структурных подразделений предприятия (далее — ПСП), который участвует в обеспечении качественного функционирования СКБ, сформированной на производственном предприятии [4–6].

На основе анализа используемых на практике способов реализации мероприятий в организационном направлении выявлены существенные недо-

статки при функционировании созданной на производственных предприятиях СКБ. В поле зрения всегда присутствует факт с утверждением, что в настоящий момент деятельность по управлению СКБ, созданной на производственных предприятиях, недостаточно структурирована, регламентирована, формализована, это выражается в наличии причинных обстоятельств:

- многие факторы, параметры, связи выявляются в процессе проведения расследования для возникших новых опасных событий (аварий и пожаров);
- возникающие отклонения, выявленные в процессе проведения профилактически-предупредительных мероприятий по минимизации (исключению) рисков возникновения опасных событий (аварий и пожаров), как правило, не обозначены в количественном (числовом) значении, в выводах представляют собой общее описание.

Потребовалось обосновать использование нового метода для проведения оценки воздействия персонала (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП), который выполняет трудовые функции по обеспечению качественного функционирования рассматриваемой системы.

Цель и задачи исследования

Цель настоящей статьи состоит в повышении состояния СКБ на предприятии за счет оценки влияния на нее персонала (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП), который выполняет трудовые функции по обеспечению качественного функционирования рассматриваемой системы.

Для достижения сформулированной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. На основе системного анализа методов, используемых на практике, представить обоснование по применению такого метода, который позволит получить количественные значения в виде отклоне-

ний, откорректировать модель управления персоналом (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП).

2. Продемонстрировать пример, позволяющий доказать адекватность использования метода оценки состояния СКБ, созданной на производственном предприятии.

Решение задачи № 1

Для принятия решений по отношению к поставленной задаче потребовалось сосредоточить внимание на имеющихся наработках в области эффективного управления СКБ, что позволяет в дальнейшем качественно принимать решения для органа ее управления. Имеющаяся на настоящий момент проблема для рассматриваемой области исследования усложнена многовариантностью для принятия решения органа управления СКБ по причине наличия большого числа вариантов для перспективных действий, где утверждение каждого конкретного решения для его использования на практике позволит говорить о правильности выбора (наилучшего, оптимального). Чтобы выбор был предпочтительным, необходимо воспользоваться инструментарием системного анализа и набором методов экспертного оценивания [7–11].

Системный анализ позволяет решить многовариантную сложную задачу по управлению СКБ, т.е. выработать такой вариант для решения данной задачи, который будет в перспективе реализован. Для того чтобы был сформирован проект для

окончательного решения, необходимо сформулировать проблему, исследовать все элементы, которые к ней имеют отношение, определить метод (группу методов), определить последовательность их применения на практике, после чего произвести требуемые построения и расчеты. Элементы, методы (приемы) системного анализа представлены на рис. 1 [12–17].

Данные методы (рис. 1) не претендуют на исчерпывающую полноту всех методов, используемых в системном анализе, так как в методологии системного анализа комплексной безопасности (далее — КБ) ВПО предприятий может быть обосновано использование других методов, позволяющих переводить решение задач на более качественный уровень.

Для получения количественного значения исследуемых факторов, рассматриваемых в условиях неопределенности, когда система управления описывается с точки зрения ее качественного состояния, возникает необходимость прибегать к использованию экспертной оценки в форме высказывания экспертами своих обоснованных утверждений о количественном выражении степени предпочтительности оцениваемого объекта, что позволяет говорить о проведении количественной экспертной оценки (рис. 2).

На рис. 2 представлены направления возможностей при использовании экспертов для оценки состояния КБ на ВПО предприятиях. Порядок проведения мероприятий для оценки состояния СКБ на ВПО предприятиях строится для представления

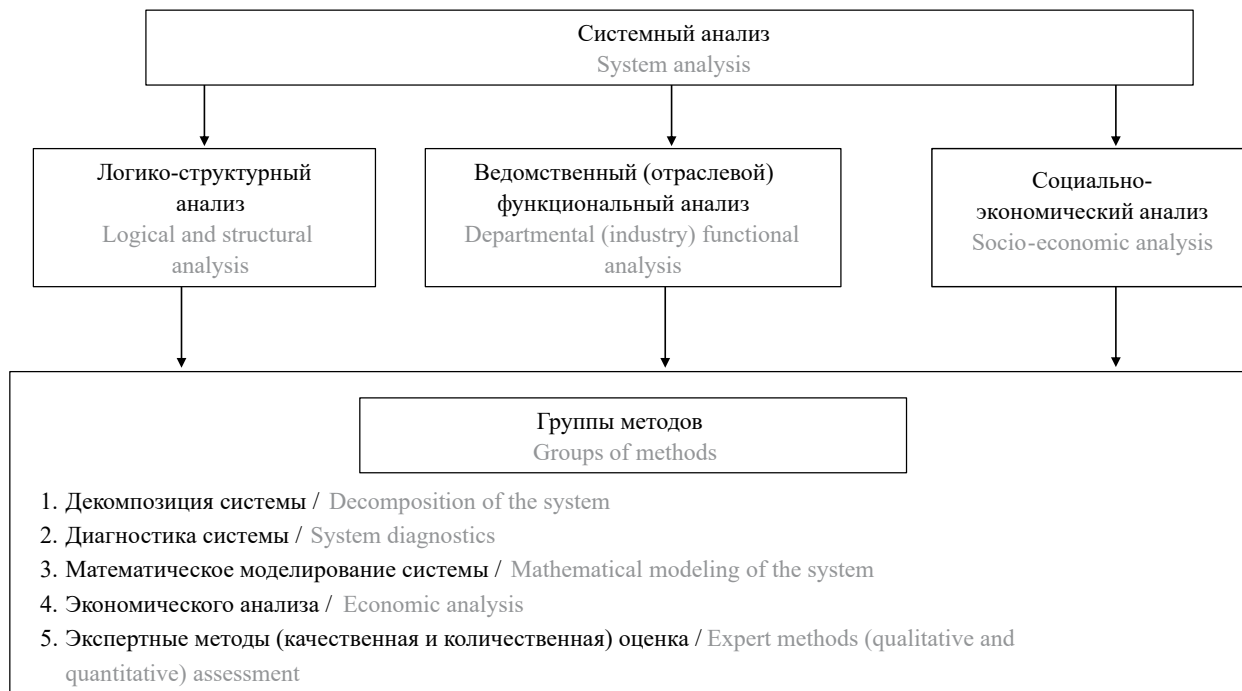


Рис. 1. Основные методы в структуре системного анализа
Fig. 1. The main methods in the structure of system analysis

Возможности в случае привлечения экспертов для оценки состояния СКБ на предприятиях Opportunities in case of involvement of experts to assess the state of SCS in enterprises
Проанализировать сложную систему, описываемую в основном в виде качественного неформализуемого процесса функционирования To analyze a complex system described mainly in the form of a qualitative non-formalized process of functioning
Проранжировать требуемые элементы по заданному критерию наиболее существенных факторов To rank the required elements according to a given criterion of the most significant factors
Повысить надежность количественной оценки целевых функций за счет усреднения мнений экспертов To increase the reliability of the quantitative assessment of target functions by averaging the opinions of experts
Использовать для полученных количественных значений другие методы, позволяющие обосновать допустимость погрешностей Use other methods for the obtained quantitative values to justify the tolerance of errors
Получить количественное задание начальных условий для их оперативной корректировки с использованием других обоснованных методов To obtain a quantitative assignment of the initial conditions for their operational adjustment using other reasonable methods

Рис. 2. Возможности при использовании экспертов для оценки состояния СКБ на предприятиях

Fig. 2. The possibilities of using experts to assess the state of the ISS in enterprises

логического вывода, основанного на имеющемся багаже специальных знаний и личного опыта эксперта. При любой постановке задачи экспертом проводится следующий обязательный набор мероприятий:

- по моделированию объекта измерения с его разложения на составные элементы;
- по выделению факторов, играющих ключевую роль для определения количественной оценки;
- по учету степени влияния факторов на определение конечной количественной оценки [18–20].

В основном, экспертные методы (*Дельфы, анализа иерархий, мозгового штурма, экспертного опроса и др.*) сводятся к решению задач на основе расстановки приоритетов, где одним из видов высказывания мнения эксперта становится парное сравнение оцениваемых объектов с целью выявить предпочтение одного по отношению к другому. Здесь получаемый результат от попарного сравнения оцениваемых объектов наиболее точно отражает субъективное предпочтение, так как эксперту не навязываются априорные условия, а также ему задаются наименьшие ограничения [21].

Математически решение экспертных задач можно описать как результативность оцениваемого объекта по отношению к другому в виде направленного графа (рис. 3).

Каждому из n -объектов ($X_1, X_2, \dots, X_n$) соответствует вершина графа, который выражает результат предпочтения одного оцениваемого объекта по отношению к другому.

Решить такую задачу по определению предпочтительности одного объекта по отношению к группе, состоящей из n -объектов, с использованием рисунка представляет определенные трудности, здесь требуется строить матрицу $A = \|a_{ij}\|$;

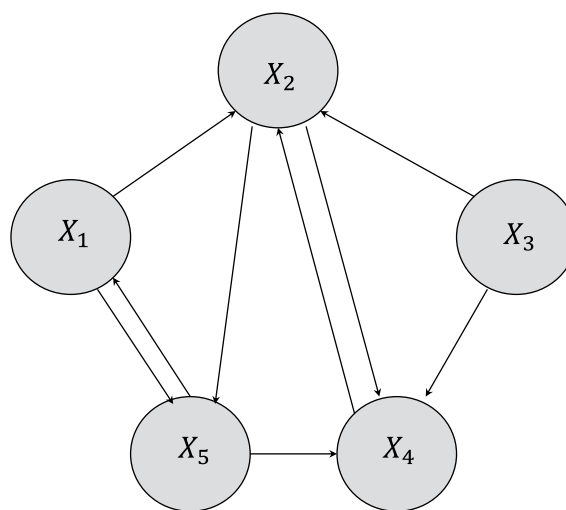


Рис. 3. Граф результата оценки n объектов
Fig. 3. Graph of the n object evaluation result

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{23} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

При этом

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } X_i > X_j; \\ 0,5, & \text{если } X_i = X_j; \\ 0, & \text{если } X_i < X_j, \end{cases}$$

где $i = j \rightarrow \{1, 2, \dots, n\}$; $a_{ij} = 0,5$;

$X_i > X_j$ означает приоритет одного оцениваемого объекта по отношению к другому;

$X_i = X_j$ означает равную важность оцениваемых объектов.

В сложной функционирующей СКБ, создаваемой на ВПО предприятиях для проведения оценки ее состояния, в первую очередь рассматриваются данные со статистикой аварий, пожаров, анализ таких данных позволяет:

- с одной стороны, определить причины в виде выявленных отклонений (недоработок подсистем ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП) при выполнении персоналом трудовых обязанностей, обозначаемые в виде коэффициента воздействия k , принадлежащего подсистеме X_i ;
- с другой стороны, определить характер нанесенного ущерба от каждой возникшей опасности (аварии и пожара).

Здесь вводится определитель итерированной силы первого порядка, который рассматривается в виде суммы количественных значений, представленных экспертами для оцениваемого объекта № 1, полученный результат для других оцениваемых объектов не учитывается:

$$P_1(1) = \sum_{j=0}^n ij.$$

Распределение количественных значений в виде коэффициента воздействия k , принадлежащего подсистеме X_i , будет задано вектором:

$$P_1(1) = |P_1(1), P_2(1), \dots, P_i(1), \dots, P_n(1)|.$$

Далее с учетом приоритетности воздействия одного оцениваемого объекта над другим проводится расчет итерированной силы второго порядка:

$$P_1(2) = \sum_{j=1}^n a_{ij} P_i(1).$$

В общем виде процесс расчета нормализованной итерированной «силы» оцениваемых объектов можно представить в виде формулы:

$$P^{\text{отн}}(k) = \frac{1}{\lambda(k)} AP^{\text{отн}}(k-1), \quad (1)$$

где $k = 1, 2, \dots$;

$P^{\text{отн}}(k)$ — нормированная итерированная сила k -го порядка i -го оцениваемого объекта;

$\lambda(k) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij} P_i^{\text{отн}}(k-1)$ — сумма компонент вектора $AP(k-1)$.

При рассмотрении случая, когда матрица A неразложима, то по теореме Перрона – Фробениуса [10] приводит к получению максимального собственного оценочного значения, представляющего число $\lambda = \lim_{k \rightarrow \infty} \lambda(k)$ матрицы A с собственным вектором:

$$P = \lim_{k \rightarrow \infty} P(k).$$

Для представленного случая процесс вычисления нормированной итерированной «силы» оцениваемых объектов сходится с результатами расчета (1).

Представленное выше обоснование во многом соответствует методу расстановки приоритетов [18], обладающему определенным преимуществом по отношению к другим методам экспертных оценок в связи с тем, что он не имеет предела для расширения границ с целью получения адекватных результатов, представляющих собой количественное значение (меру).

Учитывая то обстоятельство, что созданная на ВПО предприятии СКБ является сложной системой, имеющей множество факторов, оказывающих влияние на ее надежность функционирования, имеющей в структуре обособленные подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП), то для качественной оценки состояния каждой из представленных подсистем потребовалось расширить пределы возможностей метода расстановки приоритетов за счет использования совместно с ним функционала нормального распределения Гаусса (правило трех сигм для Гауссовской случайной величины) [22, 23].

Вывод: необходимость в расширении границ экспертного метода расстановки приоритетов заключается в следующем:

1. Метод расстановки приоритетов целесообразен для получения результатов количественных измерений ранжированного ряда со среднеквадратичным отклонением с установленными пределами в одной из подсистем (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП). Для оценки состояния СКБ на ВПО предприятии необходимо учитывать причинно-следственную связь по возникновению и нарастанию условий для возникновения первичных факторов нанесения ущерба от аварий и пожаров.

2. Использование метода расстановки приоритетов совместно с функционалом нормального распределения Гаусса позволит решить следующие задачи:

- по выбору экспертами конкретной подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП), отклонения в которой привели к возникновению первичных факторов нанесения ущерба от аварий и пожаров из-за ее недоработок (ошибок);
- по определению конкретного числового значения, представляющего собой результат в виде коэффициента воздействия для каждой подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП).

Решение задачи № 2

Эта задача может быть сформулирована следующим образом. Пусть даны подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП), для которых при анализе статистики аварий и пожаров на предприятиях нефтегазового комплекса России¹ эксперты определяют конкретную подсистему, которая:

- имеет *непосредственное* отношение к возникновению и нарастанию условий для нанесения ущерба от аварий и пожаров;
- имеет *опосредованное* отношение;
- имеет *косвенное* отношение.

Учитывая, что экспертами будет выдана не числовая и качественная характеристика, то здесь при определении количественного значения для каждого качественного представленного выше значения, то с использованием функционала нормального распределения Гаусса (правило трех сигм для Гауссовской случайной величины) [22], будет принадлежать конкретное значение для каждой из представленных качественных характеристик:

- имеющей *непосредственное* отношение к возникновению и нарастанию условий для нанесения ущерба от аварий и пожаров $\approx 0,682$, этот показатель присваивается конкретной подсистеме (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП);
- имеющей *опосредованное* отношение $\approx 0,272$, этот показатель присваивается конкретной подсистеме (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП), даже той подсистеме, которой при оценке присвоена характеристика как имеющей *непосредственное* отношение;
- имеющей *косвенное* отношение $\approx 0,046$, этот показатель может быть присвоен 1–2 конкретным подсистемам (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП).

Тогда, в общем математическом виде расчетное значение для определения коэффициента воздействия — k_b (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП) может быть записано уравнением:

$$k_b \{ \text{ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП} \} = 1 - \sum_{i=1}^3 k_{ni} \{ \text{ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП} \}, \quad (2)$$

где k_{ni} — величина, представляющая собой коэффициент недоработок в подсистеме (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП), имеющей (*непосредственное, опосредованное или косвенное*) отношение к возникновению и нарастанию условий для нанесения ущерба от аварий и пожаров.

Общий результирующий показатель работы подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП) за период t рассчитывается с привязкой к функционированию видов технологического процесса производства (Д — добыча; Т — транспортировка; П — переработка; Х — хранение; Пр — прочие).

Итоговый результирующий показатель, представляющий собой коэффициент влияния $K_{Вл}$ подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП) за период t (год, квартал, месяц и т.д.) с привязкой к функционированию технологического процесса производства, может быть представлен уравнением:

$$K_{Вл} (Д; Т; П; Х; Пр) \{ \text{ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП} \} t = \frac{\sum_{i=1}^n k_{bi}}{n}, \quad (3)$$

где n — пронумерованный крайний показатель, принадлежащий выборке.

Информация, рассматриваемая в отношении данных статистики аварий на предприятиях НГК России (для вида технологического процесса производства Д — добыча), обработана с использованием результатов экспертных решений (рис. 4).

На рис. 4 представлены буквенные обозначения, имеющие принадлежность к подсистемам, входящим в СКБ предприятия, они отнесены в следующем порядке: А для ОТ; В для ПрБ; С для ПБ; D для ПССП.

На рис. 5 показана динамика с результатами влияния служб (структурных подразделений предприятия), представляющих подсистемы (ПрБ; ПБ; ОТ; ПССП).

Информация с обработанными результатами экспертных решений указывает на повышение коэффициента влияния $K_{Вл(Д)}$ ПССП (2015–2022 гг.). Одним из факторов, позволивших изменить ситуацию с авариями и пожарами на предприятиях НГК России, стало введение на данных предприятиях дополнительных должностей инженеров пожарной безопасности, которые в обязательном порядке должны осуществлять контроль подготовки и проведения огневых работ. Это позволило уменьшить показатели по возникновению пожаров на предприятиях НГК России, повысить состояние СКБ на данных предприятиях.

¹ Уроки, извлеченные из аварий. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/>

	A			A			A			A	
	0,94			0,93			0,95			0,95	
B		D	B		D	B		D	B		D
0,84	2014	0,31	0,92	2015	0,30	0,83	2016	0,25	0,96	2017	0,22
	C			C			C			C	
	0,90			0,85			0,97			0,86	

	A			A			A	
	0,97			0,99			1,00	
B		D	B		D	B		D
0,91	2018	0,14	0,90	2019	0,16	0,94	2020	0,06
	C			C			C	
	0,98			0,95			1,00	

	A			A	
	1,00			1,00	
B		D	B		D
0,91	2021	0,09	0,93	2022	0,07
	C			C	
	1,00			1,00	

Рис. 4. Результаты обработки информации с решением экспертов

Fig. 4. Results of information processing with the decision of experts

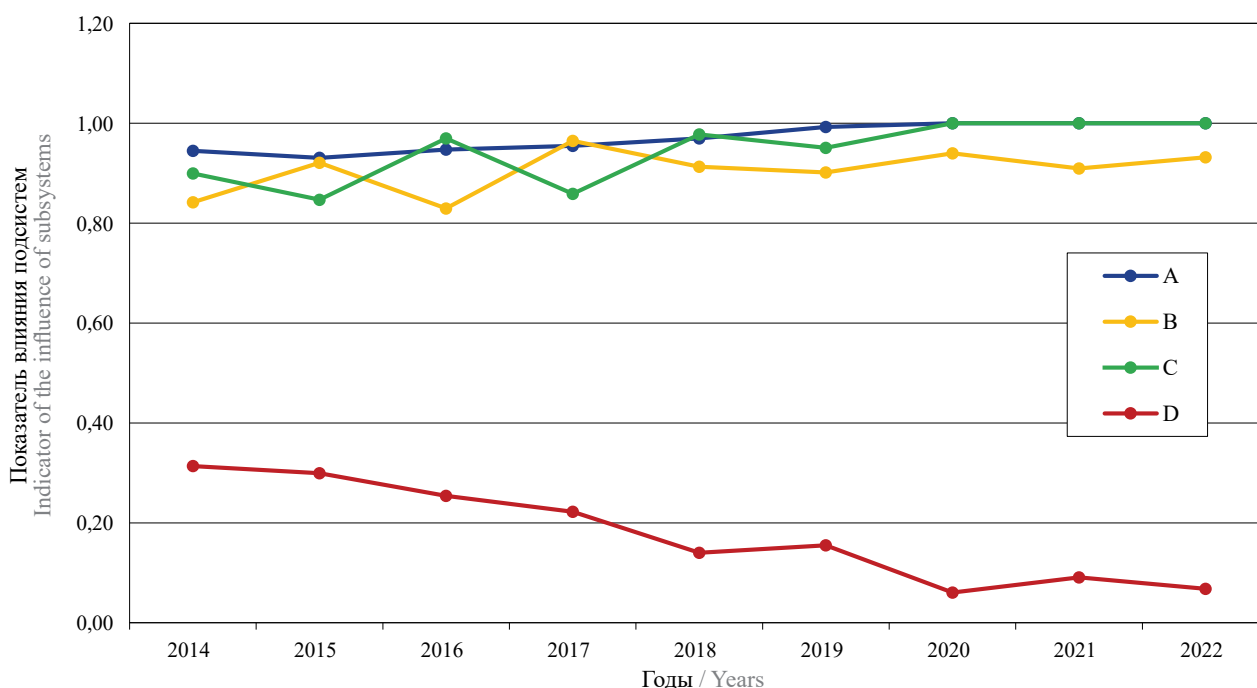


Рис. 5. Результаты анализа влияния подсистем на состояние СКБ предприятий

Fig. 5. The results of the analysis of the influence of subsystems on the state of the enterprises

Представленные результаты (рис. 5) за период в 8 лет указывают на динамичное повышение состояния СКБ предприятий НГК России со стороны ПСПП, здесь было уделено особое внимание мероприятиям, связанным с контролем выполнения договорных обязательств со стороны подрядных организаций. Это позволило сократить на 12 % возникновение аварий и пожаров за период (2020–2022 гг.) по отношению к аналогичному периоду (2017–2019 гг.).

Выводы

В ходе анализа решены поставленные задачи, позволившие выбрать экспертный метод для проведения оценки состояния СКБ на производственных предприятиях, а именно:

1. На основе системного анализа методов, используемых на практике, представлено обоснование по применению такого экспертного метода, с помощью которого получены количественные значения,

отображаемые в виде коэффициента влияния, что указывает на определенные отклонения и позволяет откорректировать модель управления персоналом (ПрБ; ПБ; ОТ; ПСП).

2. Продемонстрирован пример, позволяющий доказать адекватность использования метода оценки состояния СКБ, созданной на производственном предприятии.

Решение задач, направленных на повышение состояния СКБ на производственных предприятиях, позволяет развивать рассматриваемую систему, решать проблему по снижению ущерба от аварий и пожаров на производственных предприятиях, т.е. решать задачу, имеющую важное социально-экономическое значение для России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Махутов Н.А., Пермяков В.Н., Ахметханов Р.С. и др. Анализ рисков и обеспечение защищенности критически важных объектов нефтегазохимического комплекса : уч. пос. Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. 560 с.
2. Gvozdev E.V. Setting a problem on the rational allocation of a resource, intended to ensure integrated enterprise security // Real Estate: Economics, Management. 2023. No. 2. Pp. 50–55. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-2-50-55
3. 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
4. Гвоздев Е.В. Развитие методологии управления риском на взрывопожароопасных объектах предприятий // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 8. С. 61–69. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-8-61-69
5. Гвоздев Е.В. Постановка и решение задачи по развитию системы комплексной безопасности на взрывопожароопасных производственных объектах предприятий // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 10. С. 45–53. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-45-53
6. Gvozdev E.V. Management of complex security of enterprises using the symbolic method // Real Estate: Economics, Management. 2023. No. 4. Pp. 48–53. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-4-48-53
7. Ghosh S., Zaboli A., Hong J., Kwon J. An integrated approach of threat analysis for autonomous vehicles perception system // IEEE Access, 11. 2023. No. 99. Pp. 1–1. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3243906
8. 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). DOI: 10.1145/3569458
9. Stroykov G.A., Babyr N.V., Ilin I.V., Marchenko R.S. System of comprehensive assessment of project risks in energy industry // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. 2021. No. 34 (7). DOI: 10.5829/IJE.2021.34.07A.22
10. Srikrishnan V., Lafferty D.C., Wong T.E., Lamontagne J.R., Quinn J.D., Sharma S. et al. Uncertainty analysis in multi-sector systems: Considerations for risk analysis, projection, and planning for complex Systems // Earth's Future. 2022. Vol. 10. Issue 8. DOI: 10.1029/2021EF002644
11. Niazi M.A. Introduction to the modeling and analysis of complex systems : a review // Complex Adaptive Systems Modeling. 2016. No. 4 (1). DOI: 10.1186/s40294-016-0015-x
12. Bjerga T., Aven T., Zio E. Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: The cases of STAMP and FRAM // Reliability Engineering and System Safety. 2016. No. 156. DOI: 10.1016/j.ress.2016.08.004
13. Mbuli N., Mathonsi M., Seitshiro M., Pretorius J.H.C. Decomposition forecasting methods : a review of applications in power systems // Energy Reports. 2020. No. 6. DOI: 10.1016/j.egy.2020.11.238
14. Kim W., Katipamula S. A review of fault detection and diagnostics methods for building systems // Science and Technology for the Built Environment. 2018. No. 24 (1). DOI: 10.1080/23744731.2017.1318008
15. Witelski T., Bowen M. Methods of mathematical modelling: Continuous systems and differential equations // Methods of Mathematical Modelling: Continuous Systems and Differential Equations. 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-23042-9
16. Judd K.L. Chapter 12. Approximation, perturbation, and projection methods in economic analysis // Handbook of Computational Economics. 1996. Vol. 1. DOI: 10.1016/S1574-0021(96)01014-3
17. Han Z.Y., Weng W.G. Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network // Journal of Hazardous Materials. 2011. No. 189 (1–2). DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.02.067
18. Блюмберг В.А., Глуценко В.Ф. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. Л. : Лениздат, 1982. 160 с.
19. Bapat R.B. A max version of the Perron-Frobenius theorem // Linear Algebra and Its Applications. 1998. Pp. 275–276. DOI: 10.1016/S0024-3795(97)10057-X
20. Ramalho F.D., Silva I.S., Ekel P.Y., Martins C.A.P. da S., Bernardes P., Libório M.P. Multimethod to prioritize projects evaluated in different formats // MethodsX. 2021. No. 8. DOI: 10.1016/j.mex.2021.101371
21. Alamdari A.M., Jabarzadeh Y., Adams B., Samson D., Khanmohammadi S. An analytic network process model to prioritize supply chain risks in green residential megaprojects // Operations Management Research. 2023. No. 16 (1). DOI: 10.1007/s12063-022-00288-2

22. Беликов А.Б., Симонян В.В. Математическая обработка результатов геодезических измерений : уч. пос. 2-е изд. М. : НИУ МГСУ, 2016. 432 с.
23. Dvulit P., Savchuk S., Sosonka I. Accuracy estimation of site coordinates derived from GNSS-observations by non-classical error theory of measurements // *Geodesy and Geodynamics*. 2021; No. 12 (5). DOI: 10.1016/j.geog.2021.07.005

REFERENCES

1. Makhutov N.A., Permyakov V.N., Akhmetkhanov R.S. et al. *Risk analysis and ensuring the security of critical facilities of the petrochemical complex : a textbook*. Tyumen, TSOGU, 2013; 560. (rus).
2. Gvozdev E.V. Setting a problem on the rational allocation of a resource, intended to ensure integrated enterprise security. *Real Estate: Economics, Management*. 2023; 2:50-55. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-2-50-55
3. Gvozdev E.V. On the assessment of the state of integrated safety at the enterprises of the Russian oil and gas complex. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(1):49-64. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.49-64 (rus).
4. Gvozdev E.V. Development of risk management methodology at explosion- and fire-hazardous facilities of enterprises. *Occupational safety in industry*. 2023; 8:61-69. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-8-61-69 (rus).
5. Gvozdev E.V. Formulation and solution of the task of developing a comprehensive safety system at explosion- and fire-hazardous production facilities of enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2023; 10:45-53. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-45-53 (rus).
6. Gvozdev E.V. Management of complex security of enterprises using the symbolic method. *Real Estate: Economics, Management*. 2023; 4:48-53. DOI: 10.22337/2073-8412-2023-4-48-53
7. Ghosh S., Zaboli A., Hong J., Kwon J. An integrated approach of threat analysis for autonomous vehicles perception system. *IEEE Access*, 11. 2023; (99):1-1. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3243906
8. 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). DOI: 10.1145/3569458
9. Stroykov G.A., Babyr N.V., Ilin I.V., Marchenko R.S. System of comprehensive assessment of project risks in energy industry. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2021; 34(7). DOI: 10.5829/IJE.2021.34.07A.22
10. Srikrishnan V., Lafferty D.C., Wong T.E., Lamontagne J.R., Quinn J.D., Sharma S. et al. Uncertainty analysis in multi-sector systems: Considerations for risk analysis, projection, and planning for complex systems. *Earth's Future*. 2022; 10(8). DOI: 10.1029/2021EF002644
11. Niazi M.A. Introduction to the modeling and analysis of complex systems : a review. *Complex Adaptive Systems Modeling*. 2016; 4(1). DOI: 10.1186/s40294-016-0015-x
12. Bjerga T., Aven T., Zio E. Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: The cases of STAMP and FRAM. *Reliability Engineering and System Safety*. 2016; 156. DOI: 10.1016/j.res.2016.08.004
13. Mbuli N., Mathonsi M., Seitshiro M., Pretorius J.H.C. Decomposition forecasting methods : a review of applications in power systems. *Energy Reports*. 2020; 6. DOI: 10.1016/j.egyr.2020.11.238
14. Kim W., Katipamula S. A review of fault detection and diagnostics methods for building systems. *Science and Technology for the Built Environment*. 2018; 24(1). DOI: 10.1080/23744731.2017.1318008
15. Witelski T., Bowen M. Methods of mathematical modelling: Continuous systems and differential equations. *Methods of Mathematical Modelling: Continuous Systems and Differential Equations*. 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-23042-9
16. Judd K.L. Chapter 12. Approximation, perturbation, and projection methods in economic analysis. *Handbook of Computational Economics*. 1996; 1. DOI: 10.1016/S1574-0021(96)01014-3
17. Han Z.Y., Weng W.G. Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. *Journal of Hazardous Materials*. 2011; 189(1-2). DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.02.067
18. Blumberg V.A., Glushchenko V.F. *Which solution is better? The method of prioritization*. Leningrad, Lenizdat, 1982; 160. (rus).
19. Bapat R.B. A max version of the Perron-Frobenius theorem. *Linear Algebra and Its Applications*. 1998; 275-276. DOI: 10.1016/S0024-3795(97)10057-X
20. Ramalho F.D., Silva I.S., Ekel P.Y., Martins C.A.P. da S., Bernardes P., Libório M.P. Multimethod to prioritize projects evaluated in different formats. *MethodsX*. 2021; 8. DOI: 10.1016/j.mex.2021.101371
21. Alamdari A.M., Jabarzadeh Y., Adams B., Samson D., Khanmohammadi S. An analytic network process model to prioritize supply chain risks in green residential megaprojects. *Operations Management Research*. 2023; 16(1). DOI: 10.1007/s12063-022-00288-2
22. Belikov A.B., Simonyan V.V. Mathematical processing of the results of geodetic measurements : a textbook. *Ministry of Education and Science of the Russian Federation. The Federation. National Research. Moscow State University Builds. Un-T*. 2nd ed. Moscow, NRU MGSU, 2016; 432. (rus).

23. Dvulit P., Savchuk S., Sosonka I. Accuracy estimation of site coordinates derived from GNSS-observations by non-classical error theory of measurements. *Geodesy and Geodynamics*. 2021; 12(5). DOI: 10.1016/j.geog.2021.07.005

Поступила 29.12.2023, после доработки 09.02.2024;

принята к публикации 16.02.2024

Received December 29, 2023; Received in revised form February 9, 2024;

Accepted February 16, 2024

Информация об авторе

ГВОЗДЕВ Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры общей и прикладной физики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ПИНЦ ID: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru

Information about the author

Evgeniy V. GVOZDEV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of General and Applied Physics, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ПИНЦ ID: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru