

Методология динамического факторного воздействия служб на обеспечиваемые ими подсистемы безопасности

© **Е.В. Гвоздев** ✉

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

АННОТАЦИЯ

Введение. В структуре управления промышленными предприятиями требуется создание ставшей уже традиционной системы комплексной безопасности, включающей в себя отраслевые направления (промышленную и пожарную безопасность, охрану труда, экологическую и информационную безопасность, антитеррористическую защищенность объекта). Статистикой подтверждены факты о том, что основная доля детерминированных опасностей возникает из-за человеческого фактора, в том числе из-за недостатков (пробелов) в области воздействия персонала служб промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и антитеррористической защищенности, экологической безопасности (далее — службы) на курируемую подсистему безопасности. Для решения указанной проблемы представлено методологическое обоснование в получении показателей влияния (воздействия) каждой из служб, что позволяет выявить проблемные точки в управлении рассматриваемой системы комплексной безопасности.

Методы исследования. Проанализированы подходы с использованием существующих методов в комплексной безопасности предприятий, рассмотрены особенности их применения. На этапе проведения аналитических исследований предложено применение метода прямого детерминированного факторного анализа, с помощью которого появляется возможность детализировать показатели влияния факторов, разбивать их на составляющие. На этапе синтеза полученных аналитических результатов предложено применение метода дерева целей на основе обратных вычислений, позволяющего получить коэффициенты приращения (убывания) пробелов (ошибочных действий) персонала служб, возникающих в динамическом процессе исполнения ими трудовых отношений.

Постановка задачи. Обработывались данные статистики возникновения пожаров на предприятиях электроэнергетики РФ. Определялись коэффициенты характеристического влияния (прямое, непосредственное, опосредованное, косвенное). Потребовалось решить задачу с динамическим представлением показателей работы служб (по годам), чтобы определить те места, которые требуют формирования управляющих предписаний руководителем предприятия.

Решение задачи. Представлен пример решения обратной задачи на основе построения дерева целей, которое характеризуется простотой применения, наглядностью, динамичностью, универсальностью и унифицированностью.

Вывод. Полученные результаты могут быть интегрированы как включение в созданную на предприятии экспертную или интеллектуальную систему управления (например, SAP).

Ключевые слова: система комплексной безопасности; статистика пожаров; курирующая служба; оценка показателя воздействия; построение дерева целей

Для цитирования: Гвоздев Е.В. Методология динамического факторного воздействия служб на обеспечиваемые ими подсистемы безопасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 15–31. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.15-31

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

Methodology of dynamic factor influence of services on security subsystems that ensure comprehensive security of enterprises

© **Evgeniy V. Gvozdev** ✉

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
(Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. In the structure of management of industrial enterprises, it is necessary to create an integrated safety and security system, which has already become traditional and includes sectoral areas (industrial and fire safety, labor safety, environmental and information security, anti-terrorism security of the facility). The statistics confirm the facts that the major part of determined hazards is caused by the human factor, including shortcomings (gaps) in the field of impact of personnel of industrial and fire safety services, labor safety, information security and anti-

terrorism security, environmental security (hereinafter – services) on the supervised safety subsystems. To solve this problem, a methodological basis is presented in obtaining indicators of the influence (impact) of each of the services, that allows to reveal vulnerabilities in management of considered integrated safety and security system.

Methods of research. Approaches using existing methods in integrated safety and security of the enterprises are analyzed, and the features of their application are considered. At the stage of analytical research, it is proposed to apply the method of direct determined factor analysis, which makes it possible to specify the indicators of factor influence, divide them into components. At the stage of synthesizing the obtained analytical results, it is offered to apply the method of the objective tree on the basis of inverse calculations allowing to receive coefficients of increment (decrease) of gaps (erroneous actions) of service personnel arising in the dynamic process of their employment relations.

Problem statement. The statistical data of fires at the enterprises of electric power industry of the Russian Federation were processed. The coefficients of characteristic influence (direct, indirect) were determined. It was necessary to solve the problem with dynamic presentation of service performance indicators (by years) to identify those areas that require the formation of management instructions by the head of the enterprise.

Problem solution. The example of inverse problem solution based on the construction of the objective tree, which is characterized by ease of use, visibility, dynamism, universality and uniformity is presented.

Conclusion. The results obtained can be integrated as an embedding into an expert or intelligent management system created at the enterprise (for example SAP).

Keywords: safety and security system; fire statistics; responsible service; impact indicator assessment; objective tree construction

For citation: Gvozdev E.V. Methodology of dynamic factor influence of services on security subsystems that ensure comprehensive security of enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):15-31. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.15-31 (rus.).

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

Введение

Для устойчивого функционирования промышленных предприятий, имеющих опасные производственные объекты (ОПО), предлагается создавать систему комплексной безопасности (СКБ), ставшую уже традиционной и неотъемлемой частью системы управления предприятием [1].

Для достижения главной цели в области комплексной безопасности промышленного предприятия, а именно — *минимизации (исключения) условий возникновения опасностей техногенного характера*, требуется достаточный объем ресурсного обеспечения, в содержание которого входят *материальные, финансовые, трудовые, энергетические, информационные, временные и другие средства* [2]. На основе анализа практики управления комплексной безопасностью (КБ) промышленных предприятий установлен факт наличия ограничений в ресурсной обеспеченности КБ, т.е. ограниченных возможностей предприятия в покрытии запроса на обеспечение ресурсом, запрашиваемого от руководителей служб (отделов) — кураторов направлений, входящих в КБ (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и антитеррористической защищенности, экологической безопасности (далее — службы)).

Решение вопросов, связанных с КБ, становится актуальным и востребованным аспектом не только на уровне предприятий, но и на государственном уровне. Однако до настоящего времени среди топ-менеджеров ведомственных направлений безопасности еще не выработано единого мнения, обосновывающего выбор решения в сторону *централи-*

зации КБ или ее *децентрализации*. До сих пор в обществе управленцев-практиков, решающих задачи КБ, просматривается их явное разделение на два противоположных лагеря: сторонников и противников централизации.

Сторонниками централизации КБ являются директора промышленных предприятий, так как проведение такой реформы позволит создать на предприятии единый орган управления КБ, качественно функционирующий не только в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), но и в ходе повседневной деятельности предприятия. Кроме того, планирование ресурса для поддержания СКБ предприятия в требуемом состоянии будет осуществляться не на основе интуитивных соображений каждого из руководителей и специалистов (ведомственных) направлений безопасности предприятия, а на основе реализации утвержденных регламентированных методических указаний, что позволит направлять ресурс именно в те места, которые имеют наиболее высокие показатели по риску.

К противникам централизации КБ относится руководящий состав ведомственных направлений безопасности, созданных на государственном уровне. Данная категория «корифеев» в направлениях безопасности из-за наличия различных объективных и субъективных причин считает свое отраслевое направление безопасности наиболее значимым, приоритетным по отношению к остальным направлениям. В таких условиях положительной динамики в решении задач, связанных с совершенствованием отраслевой подсистемы безопасности, можно добиться только за счет расширения полномочий

ведомственного направления безопасности, а также ужесточения требований к исполнителям (предприятиям, организациям). При таком однозначном подходе для решения задач КБ на уровне предприятий, организаций потребуется постоянное наращивание ресурса для качественного функционирования каждой из отраслевых подсистем безопасности, входящих в КБ (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и антитеррористической защищенности, экологической безопасности).

Автор статьи, являясь сторонником рациональной централизации КБ, в проводимых исследованиях представлял в виде сравнений существующую и перспективную в плане совершенствования модели функционирования СКБ (рис. 1) [1, 2].

Представленная (см. рис. 1) существующая модель функционирования СКБ (слева) характеризуется наличием полей 1 (поля пробелов), а также полями 2 (поля пересечений). Проведенный анализ статистики возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера указывает на наличие опасностей, которые отнесены к прочим (8...12 % от общего количества), имеющим принадлежность к полям 1. Опасности этого типа возникают из-за нечеткого взаимодействия между отраслевыми подсистемами безопасности. Поля пересечений 2 характеризуются избыточностью в наличии требований для исполнения, разработанных в каждой из отраслевых подсистем безопасности, что ведет к дополнительному привлечению ресурса для обес-

печения КБ [3]. Сделан вывод о том, что функционирующая на предприятиях СКБ (в виде отдельных отраслевых подсистем) становится уязвимой в тех местах, где направления деятельности недостаточно обеспечены ресурсной поддержкой для их безопасного функционирования [3].

Обеспечение комплексной безопасности промышленных предприятий осуществляется за счет снижения рисков в следующих направлениях, представленных на рис. 2.

В работе [1] проведено исследование и представлена информация об оценке показателя устойчивости функционирования СКБ промышленного предприятия по формуле:

$$U = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{n}} K_n, \quad (1)$$

где $P_1^2, P_2^2, \dots, P_n^2$ — показатели надежности функционирования подсистем безопасности;

K_n — поправочный коэффициент.

Показатель же надежности функционирования каждой отраслевой подсистемы безопасности рассчитывался по формуле:

$$P_{1-n} = \frac{\bar{P}_{\text{ффо}} + \bar{P}_{\text{отм}}}{2}, \quad (2)$$

где $\bar{P}_{\text{ффо}}$ и $\bar{P}_{\text{отм}}$ — расчетные коэффициенты запаса надежного функционирования отраслевой подсистемы, входящей в СКБ, которые включают показатели, связанные с функционированием

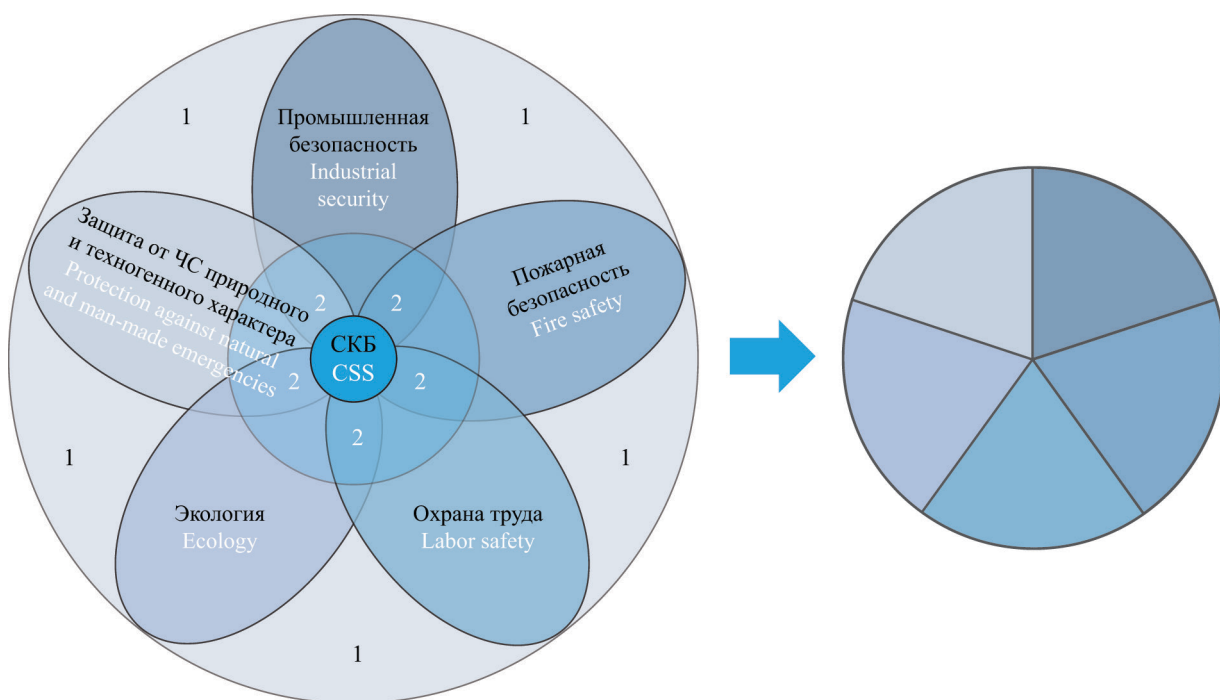


Рис. 1. Существующая и перспективная для совершенствования модели функционирования СКБ

Fig. 1. Existing and promising for improving models of ISS functioning



Рис. 2. Структура обеспечения безопасного функционирования предприятия
Fig. 2. Structure to ensure safe operation of the enterprise

физических объектов, участвующих в технологическом процессе производства (технический фактор) и реализации организационно-технических мероприятий персоналом (человеческий фактор (ЧФ)) [1].

Значение расчетного коэффициента запаса надежного функционирования отраслевой подсистемы, входящей в СКБ промышленного предприятия, связанного с определением показателей, имеющих отношение к техническим факторам, вычислялось по формуле:

$$\bar{P}_{\text{ффо}} = \frac{1 + U_p \sqrt{v_Q^2 + v_R^2 - (I_p v_R v_Q)^2}}{1 - (U_p v_R)^2}, \quad (3)$$

где I_p — показатель индекса технического состояния оцениваемого объекта ИТС_{ОО}:

$$I_p = \text{ИТС}_{\text{ОО}} = \sum_i (N_{\text{при}} \text{ИТС}_i) / \sum_i N_{\text{при}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{при}}$ — приведенная мощность i -го объекта;

ИТС _{i} — индекс технического состояния оборудования i -го объекта;

v_Q, v_R — коэффициенты вариации: v_Q — воздействия опасности и v_R — преодоления опасности.

Получение же показателя $\bar{P}_{\text{отм}}$, используемого в расчетной формуле (2), потребовало применения моделей, способных производить расчеты в количе-

ственном выражении качества следующих характеристик, входящих в содержание рассматриваемых показателей и связанных с:

- качественной разработкой нормативно-правовой (приказы, распоряжения, инструкции и др.), нормативно-методической (методические указания, методики, рекомендации и др.), технической (технические регламенты, технологические карты и др.) и справочной информации;
- реализацией управленческих воздействий для качественного управления СКБ, созданной на промышленном предприятии, основными функциями такого управления являются *планирование, организация, руководство, контроль и мотивация* персонала.

Для моделирования представленного показателя $\bar{P}_{\text{отм}}$ как показателя уровня СКБ, в которой активно участвует человек (персонал, работающий на промышленном предприятии), взаимодействующий с физическими объектами (системами), чьи действия определяются очень большим количеством факторов, требуется развитие методологии безопасного управления СКБ, созданной на данных предприятиях [4, 5].

Сегодня разработка и развитие методологии безопасного управления СКБ, созданной на промышленном предприятии, где задействован ЧФ, становятся актуальными и востребованными [6–8].

Статистикой подтверждены следующие факты: более 90 % аварий — на объектах атомной энергетики, более 80 % аварий — на объектах химической и нефтехимической промышленности, более 75 % аварий — при шельфовой нефтедобыче и более 70 % авиационных аварий связаны с человеческим фактором [6].

В данной статье ресурсное обеспечение СКБ промышленного предприятия будет представляться с точки зрения выполнения трудовых функций (задач) штатных работников служб (структурных подразделений) по профилактике предупреждения (предотвращения) опасностей, т.е. в плане реализации задач контроля (надзора) комплексной безопасности предприятия.

Основная цель работы — определить показатели уровня воздействия на подсистему безопасности специалистами служб (структурных подразделений), входящих в СКБ промышленного предприятия, с целью выявления и внесения управляющих предписаний в те точки воздействия, которые влияют на общий показатель детерминированных опасностей на подобных предприятиях.

Объект исследования — система комплексной безопасности промышленного предприятия, за управление которой и качественное функционирование отвечают специалисты соответствующих служб (отделов, групп).

Предмет исследования — управленческое воздействие специалистов служб (отделов, групп), входящих в СКБ промышленного предприятия.

В представленной работе рассматривается оценка роли и важности человеческого фактора, являющегося решающим на стадии проведения мероприятий по профилактике условий возникновения опасностей и влияющего на динамику снижения (исключения) опасностей в техносфере. Управление человеческим фактором при обеспечении безопасности любой организационной системы имеет беспрецедентное значение в наши дни, так как риск возникновения опасностей по вине человека и ущерб от него достигают катастрофических значений. Представляемая к рассмотрению проблема имеет глобальный характер, наличие возможности в ее решении на государственном уровне позволит значительно укрепить позиции национальной безопасности страны [7].

Анализ влияния человеческого фактора на комплексную безопасность промышленных предприятий

Определяющая роль ЧФ во всех сферах жизнедеятельности вытекает из того, что основное число ЧС в промышленности, строительстве, на транспорте возникает в процессе эксплуатации (более 65...75 %), а из них около 55...65 % обусловлено

ошибочными, недостаточными, неквалифицированными, несвоевременными, несанкционированными или террористическими действиями человека. Около 10...15 % аварий связано с человеческим фактором при проектировании, до 30 % — при производстве объектов техносферы [6].

Проблема анализа ЧФ в комплексной безопасности является межотраслевой (межведомственной), требуется ее изучение на основе системного подхода. Методологически, с учетом специфики системного подхода появляется возможность сориентировать исследование на раскрытии целостности объекта, обеспечивающих его механизмов, выявлении многообразных типов связей, как результат — сведение полученных данных в единую картину.

Система комплексной безопасности промышленного предприятия — это целостная совокупность функционирующих и взаимодействующих между собой отраслевых подсистем безопасности, поддержание качественного функционирования которых осуществляется за счет ресурсного обеспечения, в том числе выполнения трудовых обязанностей персоналом служб, входящих в структуру СКБ промышленного предприятия ЧФ.

Обращаясь к проблеме исследования ЧФ, влияющего на комплексную безопасность промышленного предприятия, предполагается формулировка следующего утверждения: сам по себе этот фактор нейтрален, но от деятельности персонала зависит показатель эффекта, который будет преобладать — позитивный или негативный [8].

Для принятия эффективных управленческих решений большое значение имеет принцип интегральной оценки опасностей, согласно которому при управлении должны быть рассмотрены все события и обусловленные ими риски возникновения ЧС, а также взаимовлияние этих рисков — синергетические и каскадные эффекты. Одной из важных задач при этом является выбор, правильная ориентация управляющих действий и мероприятий, надзор и контроль их эффективности и своевременная корректировка [7].

Для моделирования такой сложной многоуровневой системы, как СКБ предприятия с опасными производственными объектами, наиболее подходящим является использование показателей значений (коэффициентов), рассчитываемых на основе *отказов (функциональных отказов)* [4].

В механике или технике под *функциональным отказом* понимается состояние системы, при котором оборудование не может выполнять предназначенные функции и поддерживать заданный уровень производительности. Другими словами, это — событие, проявляющееся в полной или частичной потере работоспособности оборудования или техни-

ческой системы [4]. Отказы в механике и технике классифицируются по ряду признаков, т.е. выявляются причины и условия их возникновения, а затем разрабатываются мероприятия по их предупреждению и устранению.

Так как рассматриваемая СКБ промышленного предприятия относится к организационной системе управления, ставшей уже традиционной, *отказ элемента такой системы управления* — это событие (*конечное событие*), связанное с возникновением опасности (авария, пожар, взрыв), реализованной из-за недостатков (пробелов) в организации контрольно-надзорной деятельности и взаимодействия функциональных подразделений, входящих в СКБ промышленного предприятия (*промежуточное событие*). Моделирование и исследование *отказа (функционального отказа)* элемента системы управления под воздействием множества факторов в СКБ промышленного предприятия, определение степени их влияния — задачи очень трудоемкие.

По причине того, что основная доля числа возникающих опасностей (взрыв, пожар, ущерб здоровью или гибель работающего персонала) имеет наибольший показатель по числу детерминированных возникших событий и зависит от качественной реализации задач профилактической работы служб, входящих в СКБ промышленного предприятия, возникает необходимость во введении *следующих ограничений*:

- рассмотрения в содержании СКБ промышленного предприятия *только трех* взаимодействующих между собой отраслевых подсистем безопасности (промышленной безопасности, пожарной безопасности, охраны труда) по причине того, что рассматриваемые направления имеют наиболее высокие показатели числа реа-

лизированных опасностей (авария, взрыв, пожар, ущерб здоровью или смерть персонала);

- рассмотрения *внутренних факторов*, порождающих ряд противоречий между рассматриваемыми поименованными подсистемами безопасности, входящими в СКБ предприятия, так как требуется обеспечить ее формирование и содержание ресурсом (персоналом), выполняющим трудовые функции (задачи) в отдельных отраслевых направлениях безопасности.

Пространство последовательного нарастания событий, связанных с работой служб, участвующих в обеспечении качественного функционирования рассматриваемых подсистем безопасности, рассмотренное с точки зрения причинно-следственных связей, представлено на рис. 3.

На рис. 3 показана последовательность нарастания событий, включающая регулярные ситуации, события с дефектами, события с функциональными отказами, инициирующие, промежуточные и конечные события (события-аварии, события-ЧС).

В результате проведения исследований в области влияния обеспечивающих служб на безопасность объектов различного назначения сделаны выводы о том, что основная причина возникновения опасностей заключается в наличии недоработок (пробелов) (*исходных событий*), которые имеют свойство нарастать и приводить к возникновению отказов (функциональных отказов) в управлении СКБ предприятия (*промежуточное событие*), которые при определенных условиях могут быть реализованы в виде опасностей, наносящих повреждение (ущерб) техногенному пространству (*итоговое событие*) (см. рис. 3).

На основе анализа исследований, связанных с возникновением опасностей, выделяются четыре

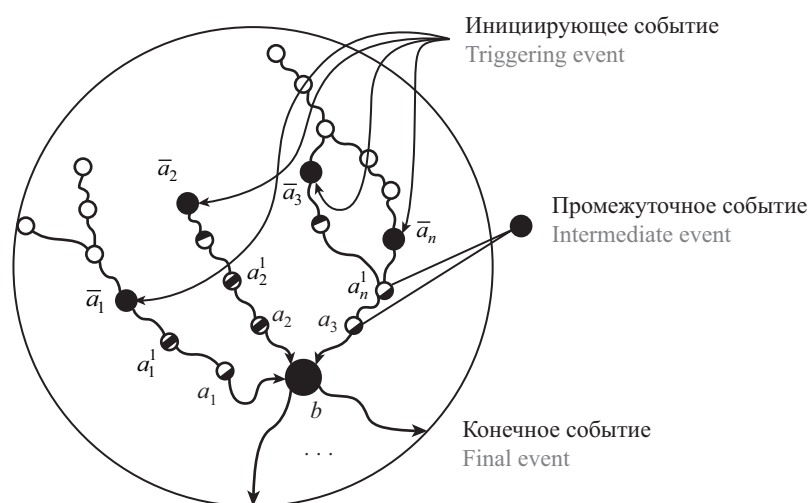


Рис. 3. Пространство последовательного нарастания событий

Fig. 3. Sequential event growth space

укрупненных направления, рассматривающих роль ЧФ при воздействии на СКБ промышленного предприятия.

1. Направление, рассматривающее человека и взаимодействующих с ним физических объектов в виде человеко-машинных комплексов (ЧМК) с точки зрения надежности [9, 10].

2. Направление, рассматривающее функциональные и физиологические возможности человека-оператора при штатных и аварийных ситуациях [11–13].

3. Направление, рассматривающее требуемый уровень подготовки специалиста-оператора, оценки его готовности к выполнению трудовых функций [14, 15].

4. Направление, связанное с организацией рабочего места специалиста, т.е. формирование комфортного эргатического пространства [16].

Отличие настоящей работы от представленных исследовательских направлений заключается в том, что в данной работе впервые рассматривается новое направление, связанное с влиянием ЧФ на комплексную безопасность промышленного предприятия, где упор будет сделан на исследование показателей управленческого воздействия персоналом служб (структурных подразделений), участвующих в формировании и поддержании устойчивого функционирования СКБ, созданной на предприятии.

Обоснование выбора метода исследования

Выбор методов, используемых для решения задач в области факторных воздействий служб на отраслевые направления, входящие в СКБ, осуществляется с учетом построения сценарно-процессных моделей на основе детерминированных реализованных событий [8]. Выбранный метод должен предусматривать возможности влияния каждого из рассматриваемых факторов на результирующий целевой показатель, при этом в случае такой сложной многоуровневой системы, как СКБ, будем говорить о влиянии на ее состояние множества различных воздействующих факторов. Основная идея влияния ЧФ на комплексную безопасность заключается в разложении общей вариации результирующей функции на отдельные, не зависящие друг от друга компоненты, каждая из которых будет охарактеризована и оценена с учетом взаимодействия множества факторов [17].

Примерная классификация задач влияния ЧФ на комплексную безопасность предприятий с точки зрения использования математических методов [18] представлена на рис. 4.

Представленный на схеме набор задач КБ, решаемых на основе факторного анализа (см. рис. 4), указывает на наличие широкого спектра возможно-

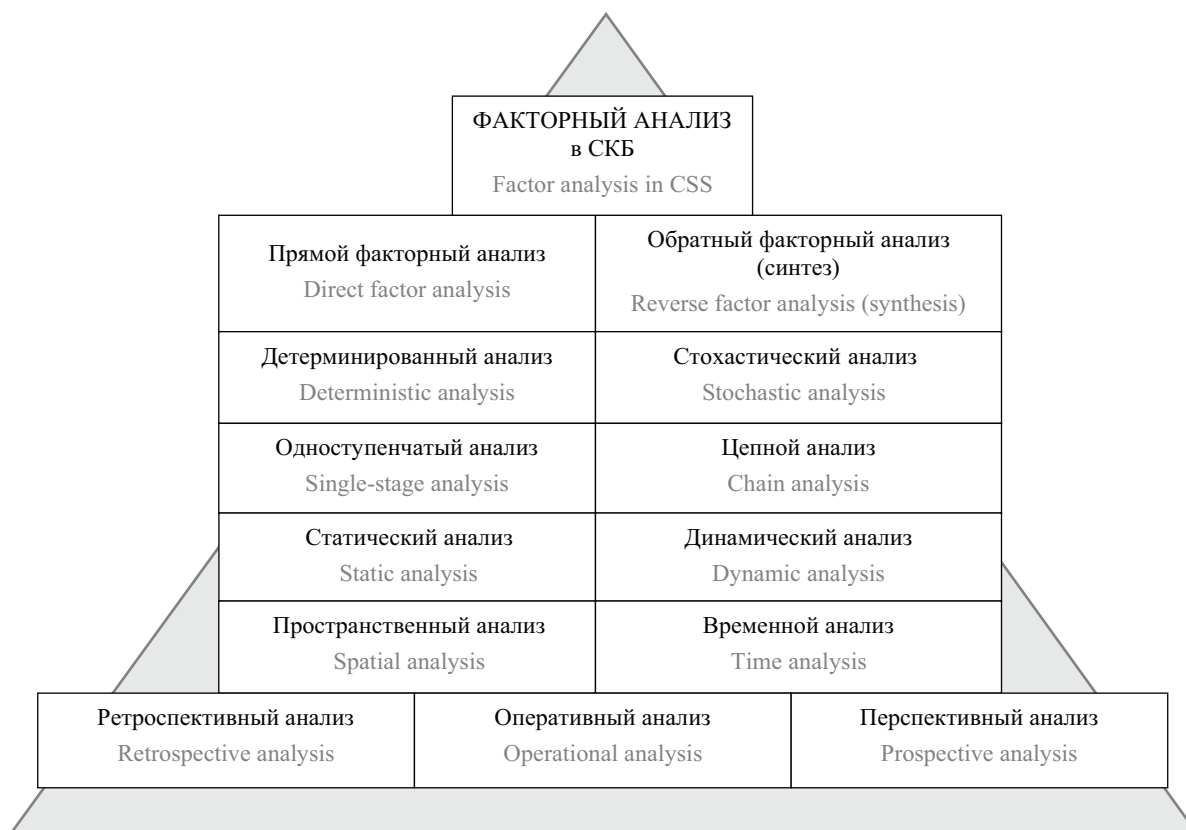


Рис. 4. Схема классификации задач факторного анализа в комплексной безопасности

Fig. 4. Scheme of classification of factor analysis objectives in integrated safety and security

стей в определении абсолютного отклонения влияющего фактора на абсолютное изменение результирующего показателя КБ. В этом случае соотношение между приращением результирующего показателя и приращением факторов будет найдено по формуле:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n A_{xi} = A_{x1} + A_{x2} + \dots + A_{xn}, \quad (5)$$

далее последует постановка задачи разложения приращения функции на составляющие A_{xn} , характеризующие изменение влияния i -го фактора на изменение результирующего показателя.

В качестве примера прямого детерминированного факторного анализа в КБ с учетом сформулированных в статье ограничений рассматриваются соотношения между:

- коэффициентами показателей влияния служб на КБ и их численности (y — общий показатель влияния; x, z, p — наименование служб при заданной функциональной форме связи $y = xzp$);
- коэффициентами отношения показателей реализованных опасностей к службам, участвующим в обеспечении КБ (y — общий показатель реализованной опасности; x, z, p — показатели реализованных опасностей в службах при заданной функциональной форме связи $y = \frac{x}{zp}$).

Однако наряду с предложенным подходом к решению представленных аналитических задач методом прямого детерминированного факторного анализа, позволяющего детализировать показатели влияния факторов и разбивать их на составляющие, существует обратная сторона, требующая рассмотрения, — *решение группы задач синтеза*. В этом случае ставится обратная задача на основе обратных вычислений [19]. Решение таких задач возможно за счет применения метода дерева целей (рис. 5)

Реализация подхода, представленного на рис. 5, позволяет в динамике определить предел прироста

(убывания) показателей α и β при условии, что $\alpha + \beta = 1$ (const).

Рассмотрим возможность практической реализации описанного подхода (см. рис. 5). Допустим, значение узла A превысило допустимый предел (рис. 5, а), т.е. формула запишется в виде:

$$A + \Delta A > A + \Delta A_{\text{доп}}. \quad (6)$$

Тогда для этого узла (рис. 5, б) рассчитывается α' (при выполнении условий $\Delta A = A_{\text{доп}}$), а β' приобретает новое значение, обеспечивающее достижение требуемого показателя ΔP . Формула для перерасчета следующая:

$$\alpha' = \frac{\alpha_i \cdot \Delta A'_i}{\Delta A}, \quad (7)$$

где α' — новый коэффициент относительной важности (КОВ), обеспечивающий достижение $\Delta A_{\text{доп}}$; $\Delta A'$ — допустимый предел изменения ΔA_i ; ΔA_i — прирост, требуемый коэффициентом α .

Для расчета β' (см. рис. 5, б) определяется новый вес оставшихся показателей:

$$\sigma = 1 - \sum_{i=1}^n \alpha'_i, \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^n \alpha'_i$ — сумма всех вновь рассчитанных КОВ;

n — количество вновь рассчитанных показателей.

Тогда КОВ для каждого вновь рассчитанного показателя будет равен:

$$\beta'_j = \beta_j \frac{\sigma}{\sum_{i=1}^m \beta_j}, \quad (9)$$

где m — количество показателей, не изменивших свой статус;

β'_j — вновь рассчитанный КОВ для показателя;

β_j — предыдущее значение КОВ для показателя;

$\sum_{i=1}^m \beta_j$ — сумма всех КОВ, не изменивших свой статус.

Таким образом, представленный подход с применением метода дерева целей и расчетов на основе обратных вычислений позволит определить те вершины, для которых недостаточно требуемого ресурса (воздействия служб на подсистемы безопасности), о чем орган управления СКБ будет проинформирован.

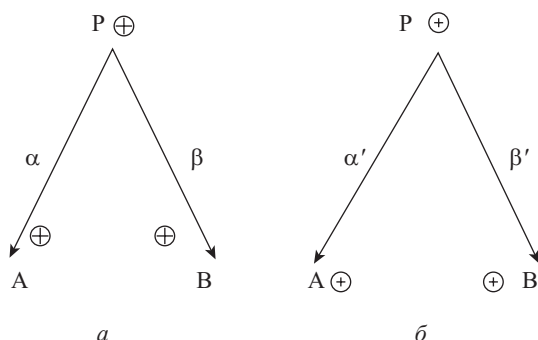


Рис. 5. Схема формирования дерева целей на основе обратных вычислений

Fig. 5. Scheme of forming the objective tree on the basis of inverse calculations



Рис. 6. Анализ причин возникновения пожаров на предприятиях электроэнергетики РФ за период 2017–2019 гг.

Fig. 6. Analysis of the causes of fires in the electric power industry of the Russian Federation for 2017–2019

Постановка и решение задачи определения показателя влияния службы (структурного подразделения) на функционирование СКБ

Для анализа и оценки влияния службы (структурного подразделения) на функционирование СКБ важно подтвердить следующие предположения:

- рассмотрение СКБ в таком виде, в котором раскрывается структура и предпосылки возникновения опасностей, что позволяет углубить представление об исполнении в данной системе применяемых средств (ресурсного обеспечения) и мероприятий защиты;
- рассмотрение СКБ не только с точки зрения представления факторно-параметрических показателей и критериев, зависящих от установленных требований в отраслевых подсистемах безопасности (промышленной безопасности, пожарной безопасности, охране труда), но и установления факторов явных зависимостей возникновения детерминированных опасностей от работы служб (структурных подразделений), участвующих в реализации задач контрольно-надзорной деятельности.

С точки зрения реализации детерминированных опасностей, на промышленных предприятиях электроэнергетики, имеющих ОПО, рассматривались пожары. На основании запроса информации¹,

¹ О предоставлении карточек учета пожаров : Информационное письмо от Начальника ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 1993-1-29-11-6 от 18.11.2019.

проводился анализ возникновения пожаров на предприятиях электроэнергетики за трехлетний период (2017–2019 гг.) (рис. 6).

Обработка статистических данных о пожарах на предприятиях электроэнергетики за период 2017–2019 гг. позволила установить зависимость между причинами возникновения пожаров (обозначены соответствующими кодами причин возникновения пожаров) (см. рис. 6), их отношением к службе, участвующей в обеспечении КБ предприятия. Расшифровка кодов причин возникновения пожаров представлена в табл. 1².

Рассмотрение сценариев развития пожаров на основе обработки массива данных о реализации их при соотношении *причина – следствие* позволило на уровне причин сделать вывод о том, что динамика нарастания промежуточных событий (см. рис. 3) во многом зависит от воздействия служб (структурных подразделений), входящих в СКБ промышленного предприятия. Основная причина нарастания промежуточных событий заключается в наличии внутренних факторов, порождающих группу противоречий, возникающих вследствие пробелов во взаимодействии. В таких условиях идет накопление противоречий, которые могут быть преодолены изменениями организационной структуры, применением усовершенствованных средств и методов управления.

² О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий : Приказ МЧС России от 24.12.2018.

Таблица 1. Количественные данные о причинах возникновения пожаров

Table 1. Quantitative data on the causes of fires

Код причины возникновения пожаров Fire cause code	Причина возникновения пожара Cause of fire
8	Прочие причины, связанные с неисправностью производственного оборудования Other causes related to production equipment malfunction
9	Недостаток конструкции и изготовления электрооборудования Lack of design and manufacture of electrical equipment
10	Нарушение правил монтажа электрооборудования Violation of the rules for the installation of electrical equipment
11	Нарушение правил технической эксплуатации (ПТЭ) электрооборудования Violation of the electrical equipment operating rules (PTE)
12	Нарушение правил пожарной безопасности (ППБ) при эксплуатации бытовых электроприборов Violation of fire safety regulations (FSR) in the operation of household electrical appliances
13	Нарушение ППБ при проведении электрогазосварочных работ Violation of fire safety regulations (FSR) during electrical and gas welding works
15	Самовозгорание веществ и материалов Self-ignition of substances and materials
17	Нарушение ППБ при эксплуатации печей Violation of fire safety regulations (FSR) during furnace operation
20	Нарушение ППБ при эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и устройств Violation of fire safety regulations (FSR) during operation of heat generating units and devices
25	Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем Other reasons related to careless handling of fire
28	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп Other reasons not belonging to any of the groups
32	Нарушение правил технической эксплуатации (ПТЭ) и выбора аппаратов защиты электрических сетей Violation of the operating rules (PTE) and selection of devices for protection of electrical networks
33	Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования Other reasons related to the violation of the rules of design and operation of electrical equipment

Важным средством управления мероприятиями, направленными на исключение (минимизацию) условий возникновения пожаров на промышленном предприятии, является проведение профилактики с помощью функций контроля и надзора. Указанные функции характеризуются общностью в достижении следующих целей:

- *контроля и надзора в области комплексной безопасности*, направленных на проведение проверки законности и целесообразности исполнения правовых, организационных, организационно-технических и ресурсно-обеспечивающих мероприятий;
- *контроля и надзора в области ПБ*, направленных на определение состояния комплексной безопасности промышленного предприятия, уровня ее оценки [5].

На рис. 7 представлена многоуровневая модель анализа возникновения *исходных и промежуточных* событий, приводящих к пожарам, с помощью которой появляется возможность на каждом из представленных уровней управления определить наиболее вероятные причины (недоработки, пробелы), имеющие отношение к ЧФ.

Рассмотрим линейно-функциональную уровневую модель для управления комплексной безопасностью электроэнергетического промышленного предприятия, имеющую следующие уровни управления (рис. 7):

- *уровень 4 (регулирующий)* — уровень государственного регулирования задач, связанных с комплексной безопасностью промышленного предприятия. Представляется созданием ведомственных отраслевых направлений по надзору (Ростехнадзор, МЧС, Минтруд и т.д.), а также

контролю (Минэнерго). На данном уровне разрабатываются *требования* в виде принятых для исполнения нормативно-правовых актов (НПА), а также *механизма реализации установленных требований*, в виде нормативных документов (НД);

- *уровень 3 (обеспечивающий)* — уровень работы органа управления предприятия с ОПО, создающий структуру и численность (ресурсное обеспечение) персонала функциональных направлений, входящих в СКБ промышленного предприятия. На данном уровне регламентируется деятельность персонала (инструкции), определяется порядок взаимодействия между

функциональными направлениями, входящими в СКБ предприятия;

- *уровень 2 (исполнительный)* — объектовый уровень качественного выполнения работы персоналом функциональных направлений, входящих в СКБ промышленного предприятия;
- *уровень 1 (возникновения конечных событий)* — структурный уровень, позволяющий установить зависимость между причиной пожара через привязку к его месту возникновения, что позволяет проследить цепочку в деятельности служб (структурных подразделений), входящих в СКБ промышленного предприятия.

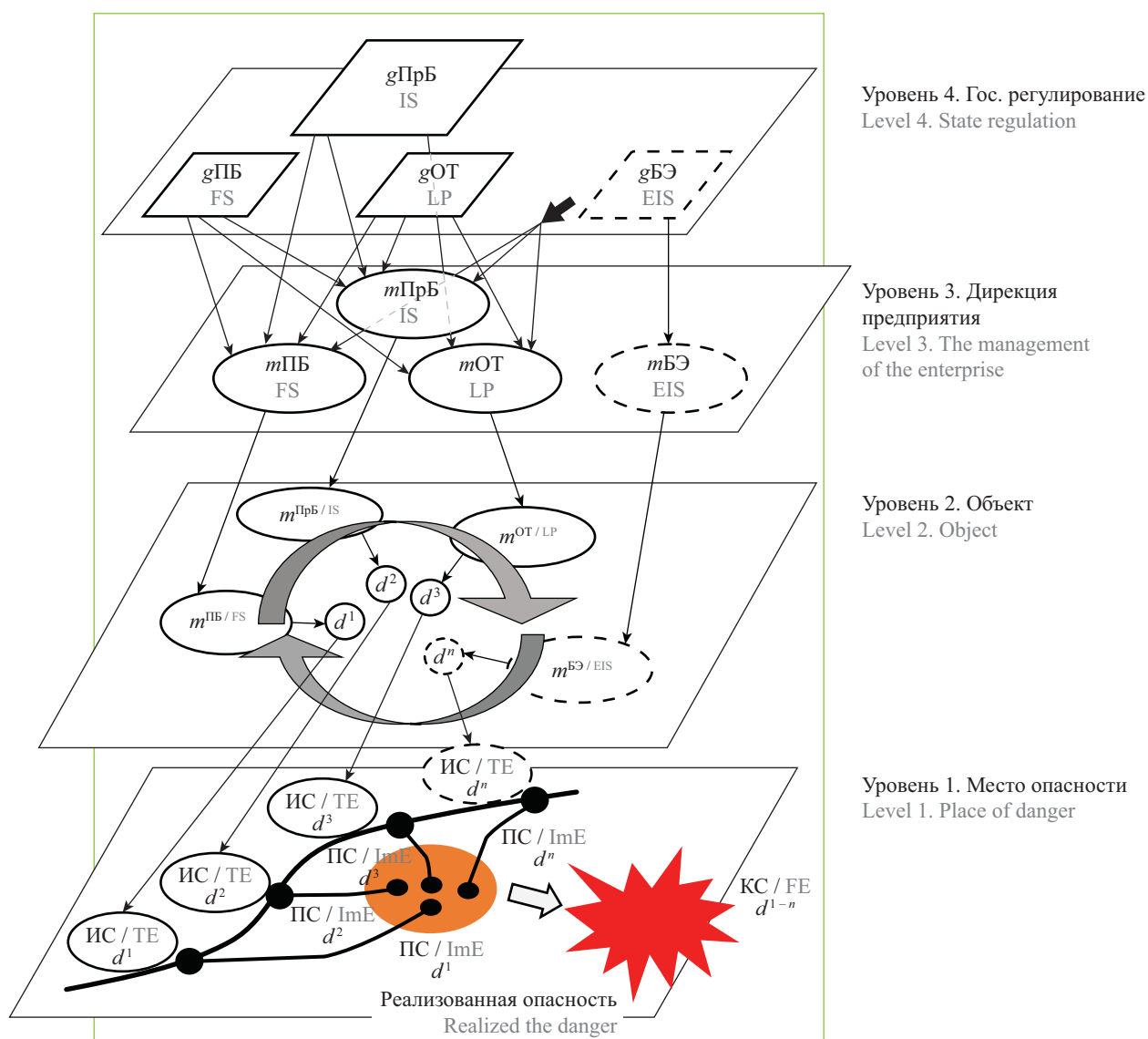


Рис. 7. Линейно-функциональная уровневая модель возникновения и нарастания событий, приводящих к пожарам: ПрБ — промышленная безопасность; ПБ — пожарная безопасность; ОТ — охрана труда; БЭ — безопасность электроэнергетики; ИС — инициирующие события; ПС — промежуточные события; КС — конечные события

Fig. 7. Linear-functional level model of occurrence and growth of events leading to fires: IS — industrial security; SR — safety rules; LP — labour protection; EIS — electric power industry safety; TE — triggering event; ImE — intermediate event; FE — final event

Последовательное прохождение событий, связанных с воздействиями на функционирование СКБ промышленного предприятия (декомпозиция целей и задач с построением причинно-следственных комплексов; введение набора свойств и множеств значений свойств, которые систематизируют показатели разнородных процессов; использование бинарных отношений для связей событий в процессе функционирования системы; применение фильтров, ограничивающих бинарные отношения и т.д.), позволит определить вероятные причины пожаров (исходные и промежуточные события) (рис. 8) [6].

Применение последовательного представления задач по воздействию функциональных структурных подразделений (ФСП), входящих в СКБ промышленного предприятия, позволяет провести их систематизацию и найти подход к их формализации [7].

Рассмотрим подход по оценке практического воздействия служб (структурных подразделений) на СКБ, созданную на крупном электроэнергетическом предприятии (компании «Мосэнерго»), обеспечивающем жителей Московского региона электроэнергией, теплом и горячим водоснабжением, имеющем опасные производственные объекты

на находящихся в его подчинении территориально-распределенных объектах (теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), районных (РТЭС) и комбинированных (КТЭС) тепловых электростанциях).

Для оценки степени воздействия ФСП, входящих в СКБ промышленного предприятия, с помощью экспертов было определено четыре показателя воздействия служб (электроэнергетической, промышленной безопасности, пожарной безопасности, охраны труда) на подсистему пожарной безопасности. Экспертами применялся метод анализа иерархий [20], позволяющий попарным сравнением определять числовые значения по установленным критериям, которые представлены в табл. 2.

В табл. 3 представлены исходные данные в виде количественных показателей, сгруппированных в соответствии с причинами возникновения пожаров и оценкой влияния служб на подсистему пожарной безопасности. Путем нормирования суммарных значений получим величины весовых коэффициентов β , которые представляют собой оценки влияния служб на подсистему безопасности. Так, для прямого, непосредственного, опосредованного и косвенного воздействий значения будут равны 0,43, 0,28, 0,19, 0,1, соответственно.

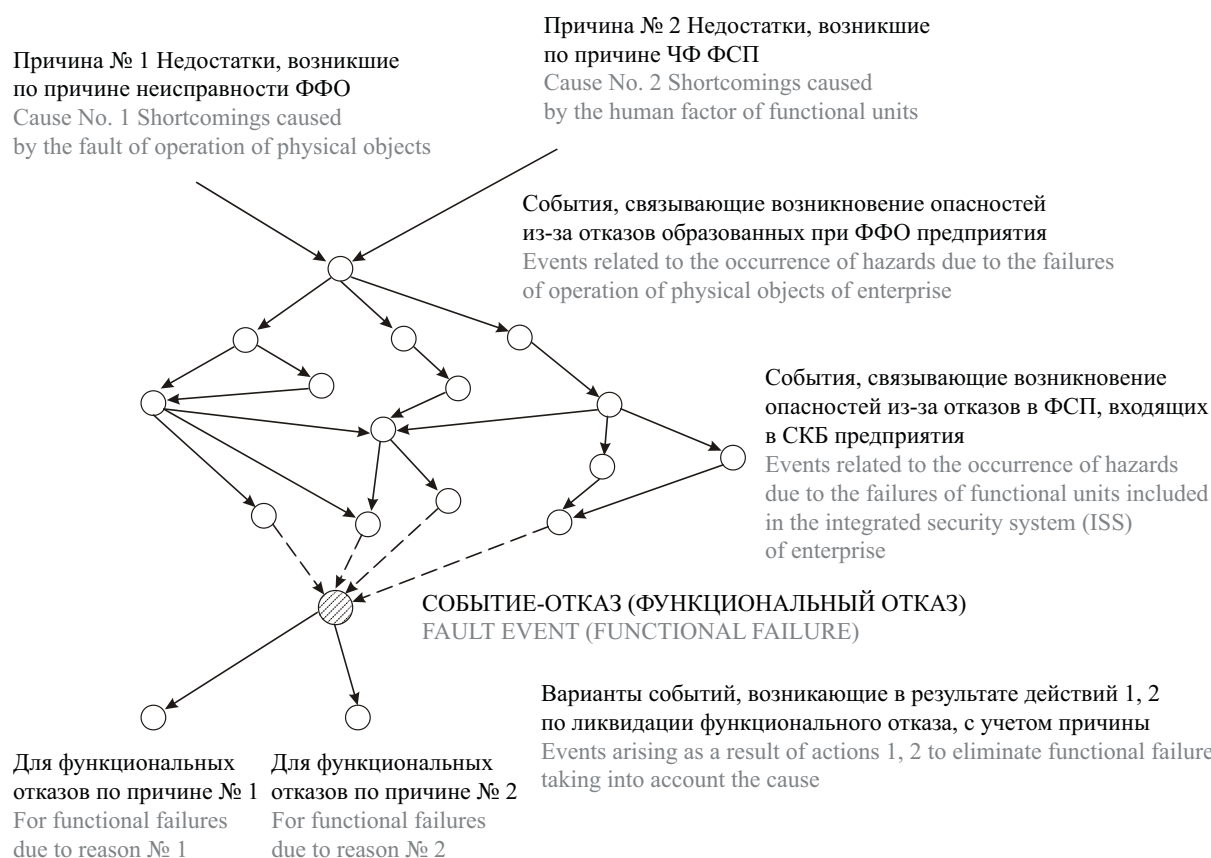


Рис. 8. Модель возникновения и нарастания событий, приводящих к пожарам

Fig. 8. Model of occurrence and growth of events leading to fires

Таблица 2. Результат метода попарных сравнений**Table 2.** Result of the pairwise comparison method

Вид воздействия Type of action	Прямое воздействие Direct action	Непосредственное воздействие Direct action	Опосредованное воздействие Indirect action	Косвенное воздействие Indirect action	Итого Total
Прямое воздействие Direct action	—	1,5	1,5	1,5	4,5
Непосредственное воздействие Direct action	0,5	—	1,5	1,5	3,5
Опосредованное воздействие Indirect action	0,5	0,5	—	1,5	2,5
Косвенное воздействие Indirect action	0,5	0,5	0,5	—	1,5

Таблица 3. Оценки влияния служб промышленного предприятия на подсистемы безопасности**Table 3.** Impact assessments of industrial enterprise “services” on security subsystems

Код причины возникновения пожаров Fire cause code	Электротехническая служба Electrical service	Служба промышленной безопасности Industrial safety service	Служба пожарной безопасности Fire safety service	Служба охраны труда Occupational safety service
8	0,1	0,1	0,1	0,1
9	0,19	0,19	—	—
10	0,1	0,1	—	—
11	0,43	0,1	—	—
12	0,1	—	0,43	—
13	0,1	—	0,43	—
15	0,19	—	0,1	0,1
17	0,19	—	0,1	0,1
20	0,19	—	0,1	0,1
25	0,1	0,1	0,1	0,1
28	0,1	0,1	0,1	0,1
32	0,43	0,1	—	—
33	0,43	—	—	0,1

Используя данные табл. 1, можно вычислить оценку риска возникновения пожаров по каждой из факторных групп:

$$r_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_{ji})^2}{n}}, \quad (10)$$

где q_{ji} — количество случаев в j -м году, вызванных причиной i ;

r_i — риск возникновения пожара по i -й причине;

n — число рассматриваемых лет.

Путем умножения коэффициентов β , отражающих оценку воздействия службы на подсистему безопасности, на риск возникновения пожаров (или количественные значения) формируется оценка деятельности отдельной (электроэнергетической, промышленной безопасности, пожарной безопасности, охраны труда) службы:

$$I_k = \sum_{i=1}^m r_i \cdot \beta_i, \quad (11)$$

где I_k — показатель деятельности k -й службы;

m — число причин возникновения пожаров.

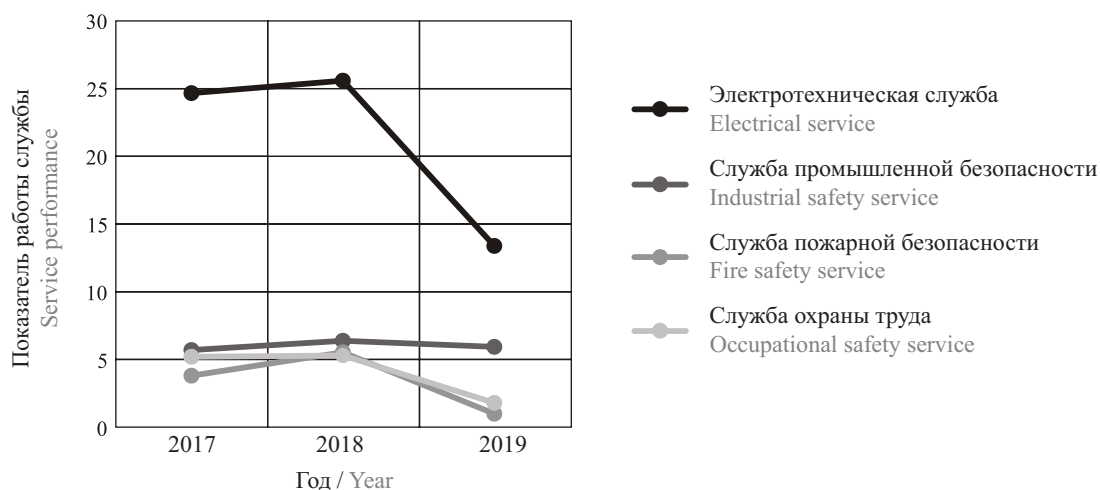


Рис. 9. Динамика показателя работы служб в годовом исчислении
Fig. 9. Dynamics of service performance on an annualized basis

Суммарный показатель деятельности всех служб будет вычислен по формуле:

$$I = \sum_{k=1}^s I_k, \quad (12)$$

где s — количество служб [21].

На рис. 9 в динамике представлен показатель работы всех служб, где просматривается их положительная динамика (за исключением службы промышленной безопасности), при этом значительное изменение отнесено к работе электротехнической службы.

Выводы

Представлен концептуальный подход к решению проблемы комплексной безопасности на промышленных предприятиях. Реализация подхода в предлагаемой постановке на основе рассмотрения ЧФ, влияющего на комплексную безопасность, позволит проводить наблюдение за организацией работы служб, входящих в СКБ промышленного предприятия и выполняющих трудовые обязанности в отраслевых направлениях безопасности.

Практически, с помощью метода анализа иерархии с применением парного ранжирования определены количественные показатели воздействия служб на подсистему безопасности (пожарную безопасность), затем, на основе синтеза аналитических исследований (решение обратных задач с построением дерева целей) подтверждается адекватность расчетов, что в перспективе в масштабах предпри-

ятий позволит вести наблюдение за изменением динамики роста или снижения детерминированных опасностей, связанных с пожарами.

Научную основу дальнейшей работы будет представлять подробное исследование и теоретическое описание работы функциональных направлений комплексной безопасности на различных уровнях функционирования (см. рис. 6), которое будет включено в содержание методики оценки влияния человеческого фактора на состояние СКБ промышленного предприятия. Эта методика позволит решить поставленную в статье задачу. Именно отсутствие в данный момент вышеуказанной методики является тормозом развития и совершенствования СКБ.

В перспективе при реализации представленного подхода может быть создана экспертная или интеллектуальная система управления СКБ промышленного предприятия.

Реализация предлагаемого подхода позволит повысить устойчивость функционирования СКБ на промышленном предприятии, а при его использовании на других предприятиях — перевести их СКБ на более высокий качественный уровень.

В итоге реализация представленного к рассмотрению подхода в перспективе даст возможность разработать методологию синтеза адаптивной СКБ для решения научной проблемы динамического управления комплексной безопасностью промышленного предприятия, что имеет важное хозяйственное значение для России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвоздев Е.В., Матвиенко Ю.Г. Комплексная оценка риска на предприятиях жизнеобеспечения, имеющих опасные производственные объекты // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 10. С. 69–78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78

2. Гвоздев Е.В. Методология синтеза адаптивной системы комплексной безопасности на предприятии жизнеобеспечения населения региона // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. Т. 29. № 2. С. 6–16. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16
3. Gvozdev E.V., Cherkina V.M. The modern strategy to the process of managing complex security of the enterprise on the basis of rational centralization // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 9. No. 1. Pp. 4614–4620. DOI: 10.35940/ijitee.A4944.119119
4. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г., Романов А.Н. Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения / под ред. Н.А. Махутова, Ю.Г. Матвиенко, А.Н. Романова М. : URSS, 2018. 720 с.
5. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Буйновский С.Н., Гражданкин А.И. Научные основы промышленной безопасности в многотомном издании «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 4. С. 17–26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26
6. Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адамов Е.О., Адушкин В.В., Акимов В.А., Алешин А.В. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность / под ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2018. 1016 с.
7. Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адушкин В.В., Акимов В.А., Аксютин О.Е., Алдошин С.М. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности / под ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2017. 992 с.
8. Chebotarev S.V. Economic factorial analysis: general theory and original approaches // The 4th International Carpathian Control Conference (ICCC2003) : Proceedings of the conference. High Tatras, Slovak Republic, 2003. Pp. 795–798.
9. Лобова И.В. Организационно-методическое обеспечение разработки стратегии управления персоналом промышленного предприятия : дис. ... канд. экон. наук. Кострома, 2005. 243 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16062921>
10. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era // 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). Porto Alegre, Brazil, 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
11. Сологуб А.М. Модель управления человеческими ресурсами для Российских организаций : дис. ... канд. социол. наук. Ростов-на-Дону, 2005. 136 с.
12. McDermott P.L., Ries A.J., Plott B., Touryan J., Barnes M., Schweitzer K. A cognitive systems engineering evaluation of a tool to aid imagery analysts // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. SAGE Publications, 2015. Vol. 59. No. 1. Pp. 274–278. DOI: 10.1177/1541931215591056
13. Trueba-Alonso P., Corrales-Quirós C., Méndez-Salguero J., Rejas-López L. Evolution of plant operation in main control rooms of nuclear power plants as a consequence of modernization programs // 11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019. Orlando, Florida, USA 9–14 February 2019. Vol. 2. New York : Curran Associates publ., 2019. Pp. 1053–1067.
14. Солдатова И.А. Управление человеческими ресурсами организации в условиях инновационного развития : дис. ... канд. социол. наук. М., 2009. 156 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19219960>
15. Donham K.J., Thelin A. General environmental hazards in agriculture communities // Agricultural Medicine: Rural Occupational and Environmental Health, Safety, and Prevention, Second Edition. John Wiley & Sons, 2016. Pp. 251–291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
16. Holt G.D. Opposing influences on construction plant and machinery health and safety innovations // Construction Innovation. 2016. Vol. 16. No. 3. Pp. 390–414. DOI: 10.1108/CI-10-2015-0048
17. Холодов П.П., Юнгблудт С.В., Ботвенко Л.А. Совершенствование методологии повышения квалификации руководителей и специалистов особо опасных производств ТЭКа как способ решения проблем безопасности // Уголь. 2018. № 4. С. 38–41. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-4-38-41
18. Блюмин С.Л., Суханов В.Ф., Чеботарев С.В. Экономический факторный анализ : монография. Липецк : ЛЭГИ, 2004. 147 с.
19. Одинцов Б.Е. Обратные вычисления в формировании экономических решений. М. : Финансы и статистика, 2004. 190 с.

20. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М. : Радио и связь, 1993. 314 с.
21. Грибанова Е.Б. Методы решения обратных задач экономического анализа с помощью минимизации приращений аргументов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 2. С. 95–99. DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-95-99

REFERENCES

1. Gvozdev E.V., Matvienko Yu.G. Comprehensive risk assessment at the life support enterprises with hazardous production facilities. *Occupational safety in industry*. 2019; 10:69-78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78 (rus.).
2. Gvozdev E.V. Methodology for the synthesis of an adaptive integrated security system at a regional life support enterprise. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 29(2):6-16. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16 (rus.).
3. Gvozdev E.V., Cherkina V.M. The modern strategy to the process of managing complex security of the enterprise on the basis of rational centralization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 9(1):4614-4620. DOI: 10.35940/ijtee.A4944.119119
4. Makhutov N.A., Matvienko Yu.G., Romanov A.N. *Problems of strength, technogenic safety and structural material science* / ed. N.A. Makhutov, Yu.G. Matvienko, A.N. Romanov. Moscow, URSS publ., 2018; 720. (rus.).
5. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Buinovskiy S.N., Grazhdankin A.I. Scientific fundamentals of industrial safety in the multivolume series "Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects". *Occupational Safety in Industry*. 2020; 4:17-26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26 (rus.).
6. Abrosimov N.V., Ageev A.I., Adamov E.O., Adushkin V.V., Akimov V.A., Aleshin A.V. et al. *Security of Russia. Legal, socio-economic, and scientific and technical aspects. Technogenic, technological and technosphere safety* / ed. N.A. Mahutova. Moscow, Znanie publ., 2018; 1016. (rus.).
7. Abrosimov N.V., Ageev A.I., Adushkin V.V., Akimov V.A., Aksyutin O.E., Aldoshin S.M. et al. *Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Fundamental and applied problems of complex security* / ed. N.A. Mahutova. Moscow, Znanie publ., 2017; 992. (rus.).
8. Chebotarev S.V. Economic factorial analysis: general theory and original approaches / S.V. Chebotarev. *The 4th International Carpathian Control Conference (ICCC 2003): Proceedings of the conference*. High Tatras, Slovak Republic, 2003; 795-798.
9. Lobova I.V. *Organizational and methodological support for the development of a personnel management strategy for an industrial enterprise* : dissertation ... candidate of economic sciences. Kostroma, 2005; 243. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16062921> (rus.).
10. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Porto Alegre, Brazil, 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
11. Sologub M.A. *Human resource management Model for Russian organizations* : dissertation ... candidate of sociological sciences. Rostov-on-Don, 2005; 135. (rus.).
12. McDermott P.L., Ries A.J., Plott B., Touryan J., Barnes M., Schweitzer K. A cognitive systems engineering evaluation of a tool to aid imagery analysts. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. SAGE Publications, 2015; 59(1): 274-278. DOI: 10.1177/1541931215591056
13. Trueba-Alonso P., Corrales-Quirós C., Méndez-Salguero J., Rejas-López L. Evolution of plant operation in main control rooms of nuclear power plants as a consequence of modernization programs. *11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019. Orlando, Florida, USA 9–14 February 2019. Vol. 2*. New York, Curran Associates, Inc, 2019; 1053-1067.
14. Soldatova I.A. *Human resource Management of organizations in the context of innovative development* : dissertation ... candidate of sociological sciences. Moscow, 2009; 156. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19219960> (rus.).
15. Donham K.J., Thelin A., Donham K.J., Thelin A. General environmental hazards in agriculture communities. *Agricultural Medicine: Rural Occupational and Environmental Health, Safety, and Prevention*. Second Edition. John Wiley & Sons publ., 2016; 251-291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
16. Holt G.D. Opposing influences on construction plant and machinery health and safety innovations. *Construction Innovation*. 2016; 16(3):390-414. DOI: 10.1108/CI-10-2015-0048

17. Kholodov P.P., Jungbludt S.V., Butvenko L.A. Improving the methodology of training of managers and specialists particularly hazardous industries, enterprises of Fuel and energy complex as a way of solving security problems. *Ugol'*. 2018; 4:38-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-4-38-41 (rus.).
18. Blumin S.L., Sukhanov V.F., Chebotarev S.V. *Economic factor analysis* : monograph. Lipetsk, LEGI publ., 2004; 147. (rus.).
19. Odintsovo B.E. *Inverse calculations in the formation of economic decisions*. Moscow, Finance and statistics publ., 2004; 190. (rus.).
20. Saaty T.L. The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation. New York, McGraw-Hill publ., 1980; 287.
21. Gribanova E.B. Methods for solving inverse problems of economic analysis by minimizing argument increments. *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. 2018; 21(2):95-99. DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-95-99

Поступила 13.07.2020, после доработки 27.07.2020;

принята к публикации 29.07.2020

Received July 13, 2020; Received in revised form July 27, 2020;

Accepted July 29, 2020

Информация об авторе

ГВОЗДЕВ Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ 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 Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru