О методах качественной оценки состояния безопасности структурно-сложных систем

Александр В. Бочков, ООО «Газпром газнадзор», Российская Федерация, Москва

a.bochkov@gmail.com

Александр В.
Бочков

Резюме. Цель. Показать способ преодоления неопределенности в требованиях к качеству данных в нестандартных ситуациях и пути формализации принятия решений, направленных на обеспечение безопасного функционирования структурно-сложных систем. Предложен способ осуществления аксиоматического построения интегральных показателей, описывающих свойства системы и среды ее функционирования через синтез функции риска. **Методы.** Использованы методы системного анализа задачи, методы аппарата трудности достижения целей Руссмана, и теории контрольных карт Шухарта. **Результаты.** Предложены способы качественной оценки состояния безопасности двух видов: «лучше чем» (при определении некоторого целевого уровня, характеризующего состояние безопасности, которое надо достигнуть в идеале) или «не хуже чем» (при определении некоторого предельно допустимого уровня, характеризующего состояние безопасности, ниже которого недопустимо опускаться), подразумевающие некоторые интервалы отклонений от заданных целевого или, соответственно, минимально допустимого уровней, в пределах которых состояние безопасности, оцениваемое интегральным показателем, считается удовлетворительным. **Выводы.** Показано, что в задачах оценки безопасности и риска структурно-сложных систем не стоит пытаться работать только с конкретными событиями в области безопасности. Все эти события характеризуются набором свойств и сопутствующих факторов, у которых есть соответствующие характеристики. Нужно стараться определять каждое свойство и определять каждую характеристику этого свойства, что позволит затем определять проактивные и реактивные действия управления как реакцию на изменения этих характеристик и свойств. Отработав свойство ситуации или события, мы отработываем свойство риска, и совершенно не важно в каком конкретном риске это свойство проявится. Комбинаций свойств риска может быть крайне много, потому конкретные ситуации предсказывать крайне сложно. Следствием этого является необходимость создания проактивной системы поддержки принятия решений, которая на качественном уровне помогает принимать адекватные управленческие решения в преддверии критического события.

Ключевые слова: структурно-сложная система, синтез рисков, безопасность, управление, трудность достижения цели, статистическое мышление.

Для цитирования: Бочков А. В. О методах качественной оценки состояния безопасности структурно-сложных систем // Надежность. 2020. №3. С. 34-46. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-34-46>

Поступила 16.06.2020 г. / После доработки 02.07.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

Введение

Несомненно актуальными остаются на протяжении уже ряда лет задачи принятия оптимальных решений по управлению системами в условиях низкого информационного уровня их математического описания, который характеризуется, во-первых, неопределенностью в выборе целевой функции и задании ограничений, связанной с наличием большого числа разноименных и противоречивых показателей вариантов описания текущего состояния и развития системы, и, во-вторых, нестандартностью ситуаций принятия решений – возможностью вычисления для каждого варианта лишь значений отдельных показателей, незнанием и трудно-реализуемостью ряда важных свойств целевой функции, свойств области поиска, и т.д. Принятие решений при этом в общем виде определяется как процесс выбора наилучшей альтернативы из всех возможных вариантов. Однако на практике достижение оптимального результата может быть проблематичным, поскольку лица, принимающие решения (ЛПР) и эксперты часто испытывают затруднения при принятии решений.

Анализ риска является, по сути, единственной возможностью исследовать те вопросы обеспечения безопасности, на которые не может быть получен ответ из статистики, как, например, аварии с малой вероятностью реализации, но с большими потенциальными последствиями [1]. Конечно, анализ риска не является решением всех задач обеспечения безопасности, однако только используя его, можно сравнить последствия от различных источников опасности, выделить наиболее существенные из них, выбрать наиболее эффективные и экономичные системы по обеспечению безопасности, разработать мероприятия по снижению последствий аварий и т.д. При этом риск, как динамическая характеристика, зависящая от времени, средств и информации, не может быть сведена к «двумерным оценкам» вероятности и ущерба. Кроме того, существует принципиальное различие между стохастическими факторами, приводящими к принятию решения в условиях риска, и неопределенными факторами, приводящими к принятию решения в условиях неопределенности. И те, и другие приводят к разбросу возможных исходов результатов управления, но стохастические факторы полностью описываются известной стохастической информацией (эта информация и позволяет выбрать лучшее в среднем решение), а применительно к неопределенным факторам подобная информация отсутствует.

Проблема снятия неопределенности в задачах оценки безопасности имеет широкое практическое значение и до конца не разрешена к настоящему времени. Широкую дискуссию вызывают в научном сообществе даже трактовки понятий, используемые разными исследователями [2].

Многие, если не большинство, методы в статистике используют вероятности, удовлетворяющие классическим аксиомам Колмогорова (называемые «точными»,

«классическими» или «аддитивными» вероятностями). Однако уже в ранних публикациях, посвященных количественной оценке неопределенности, использовались, например, предвидения [3], неаддитивные вероятности [4] и выпуклые множества вероятностей [5]. Подавляющий акцент на точные вероятности развился только после работ Лапласа [6] и на сегодняшний день многие исследователи в области статистики и теории вероятностей по-прежнему убеждены, что аддитивные вероятности обеспечивают основу для количественного определения неопределенности, которая достаточно богата, чтобы справляться со всеми видами неопределенностей, и информацией, возникающей в практических задачах. Однако все больше и больше становится общепринятым мнение о том, что аддитивные вероятности слишком ограничены и что появляющиеся альтернативные структуры обеспечивают столь необходимую гибкость для количественной оценки неопределенности, тем самым также предлагая новые способы борьбы с ней в задачах оценки инженерного риска, безопасности и надежности.

Ситуация неопределенности характеризуется тем, что выбор конкретного плана действий может привести к любому результату из определенного множества вариантов, но вероятность влияния случайных факторов неизвестна. Различают, как правило, два случая: в первом случае вероятности неизвестны вследствие отсутствия необходимой статистической информации, а во втором – ситуация не статистическая и об объективных вероятностях говорить вообще не имеет смысла (ситуации так называемой «совершенной» неопределенности). Именно «совершенная» неопределенность встречается чаще всего, поскольку решения (особенно стратегические) принимаются, как правило, в уникальных условиях. А принятие решений в условиях неопределенности неразрывно связано с риском.

Инженеры традиционно боролись с неопределенностью с помощью факторов безопасности, требуя, чтобы фактическая нагрузочная способность конструкции превышала проектную нагрузку на определенный коэффициент. Тем не менее, подход с учетом коэффициента безопасности не дает информации о фактическом времени до отказа и поэтому считается не вполне удовлетворительным. Поскольку было желательно лучшее аналитическое описание неопределенностей, инженерные оценки были заложены в вероятностную основу начиная с 1950-х годов в новаторских работах Фройдентала, Болотина и других. При таком подходе каждый параметр модели рассматривается как случайная величина, и вместо абсолютной безопасности учитывается вероятность отказа. Такой вероятностный подход приводит к взрыву числа параметров: каждый физический параметр теперь имеет распределение вероятностей, которое, в свою очередь, описывается параметрами распределения (такими, как среднее значение, стандартное отклонение, эксцесс и т.д.), не говоря уже об описании корреляции между переменными. К сожалению, это требует гораздо больше информации, чем обычно доступно. Таким об-

разом, на практике параметры распределения должны быть частично определены с помощью нормативных допущений, например, просто ограничив тип распределения типом, обычно встречающимся в технической литературе, или наивно предполагая независимость, если информация о корреляции недоступна. Другими словами, необходимо вводить искусственную информацию, которая не может быть подтверждена какими-либо доступными данными.

Стремление к моделям неопределенности, отражающим истинный уровень доступной информации, привело к поиску альтернативных моделей в инженерном сообществе: вероятностные модели считались слишком жесткой концепцией, а инженерная практика довольно четко показала, что интервальные оценки неопределенности предпочтительнее точечных оценок.

Каков же выход? Нужно переходить к синтезу риска в управлении системами и концептуальному проектированию систем управления. Вероятность – не аддитивная величина. Сложение произведений вероятности на ущерб работает только для малых вероятностей. Об этом, в частности, говорилось в предыдущих статьях [7, 8]. Основная идея, озвученная в этих публикациях – оценка риска должна производиться с точки зрения недостижения «идеала». Как следствие программа развития (проект, модель) должна включать описание этого идеала во взаимосвязи всех факторов и угроз. Для решения такой задачи необходимо разработать структуру системы управления, которая отражала бы взаимосвязи между ее элементами, угрозами, рисками и уязвимостями. По определению задача синтеза структуры такой системы сводится к заданию множества отношений на множестве ее элементов.

В области восприятий, в частности, где действие поля сознания можно легко проанализировать экспериментально, давно пришли к выводу, что так называемые «элементы» суть всегда продукты диссоциации или вычленения из целого внутри начальной совокупности и что ни одно частное соотношение не может быть выделено без выявления с самого начала характерных структурных свойств совокупности. В итоге этот путь приведет к пониманию необходимости создания реально функционирующей системы мониторинга, которая в общем виде подразумевает решение четырех взаимосвязанных задач [9, 10]:

- наблюдение – заключается в получении и распространении информации, обработке и предоставлении ее пользователям (данная функция выступает в качестве интегрирующей, позволяет сформировать базу данных для анализа, оценки и прогнозирования состояния объекта мониторинга и его развития);

- анализ и оценка – предполагает анализ собранной информации, раскрытие причинно-следственных связей, сравнение принятых индикаторов и показателей с установленными нормативами;

- прогнозирование – связано с возможностью на основе качественной мониторинговой информации

достоверно представить общую картину развития наблюдаемого явления, объекта или системы в перспективе и, таким образом, научно обоснованно разработать ближайшие и более отдаленные по исполнению планы преобразования того или иного процесса, управления им;

- контроль – заключается в постоянном отслеживании полученных результатов и сравнении их с исходными данными, а также организации и контроле исполнения запланированных мероприятий и задач.

Включение аналитической составляющей в систему мониторинга является обоснованным и правомерным. Более того, анализ выступает наиболее значимым элементом мониторинга, т.к. мониторинг – это не только фиксация фактов, зеркальное отражение происходящих процессов, но и аналитика, оценка, позволяющая формировать выводы и предложения, выстраивать прогнозы, планы, сценарии развития и т.п. Прогностическая же составляющая является исходной для функций контроля, планирования и управления. Если представлять управление как передачу информационных потоков от одного субъекта управления к другому, то управление – это процесс формирования целенаправленного поведения объекта управления и обеспечения устойчивых режимов его функционирования в условиях риска и неопределенности посредством организации потоков внутренней и внешней информации, а также методов ее поиска, обработки и распределения, позволяющих осуществить формирование, выбор и применение рационального управленческого решения. В условиях ограниченных информационных потоков о состоянии объекта управления, или крайней неполноты признаков описания ситуаций, влияющих на безопасность, широкое применение могут найти качественные оценки.

1. О качественных оценках

Качественные оценки состояния производственной безопасности возможны двух видов: «лучше чем» (при определении некоторого целевого уровня, характеризующего состояние безопасности, которое надо достигнуть в идеале) или «не хуже чем» (при определении некоторого предельно допустимого уровня, характеризующего состояние безопасности, ниже которого нельзя опускаться). Обе оценки подразумевают некоторые **интервалы отклонений от заданных целевого или, соответственно, минимально допустимого уровня**, в пределах которых состояние производственной безопасности, оцениваемое неким интегральным показателем, считается удовлетворительным.

Преимущество качественных оценок – в простоте применения и использования меньшего объема информации, простоте восприятия и интерпретации ЛПР. Мировой опыт показывает, что применение качественных методов оценки зачастую дает наибольший объем рекомендаций по обеспечению безопасности, чем количественные методы. Данные методы имеют ряд специфических особенностей. Как правило, каче-

ственные показатели выражаются баллами или рангами, которые представляют собой числа, но над этими числами нельзя проводить основные математические операции, они не подчиняются общим математическим правилам, то есть если одному из показателей присвоен ранг «1», а другому «2», это не означает, что первый оценивает опасность в два раза ниже, чем второй. Для получения совокупной качественной оценки безопасности используются, как правило, логические правила и процедуры.

2. О шкале оценки

Для оценки показателей должны быть разработаны адекватные количественные или порядковые шкалы. Для балльной оценки показателей, например, можно использовать хорошо зарекомендовавшую себя в ряде практических задач [11-13] нелинейную неравномерную шкалу.

Базой для ее построения является знание диапазона значений, принимаемых показателями, то есть знание минимальной $x_{\min}$ и максимальной $x_{\max}$ оценок. Принято, что значение 1 равно $x_{\min}$, а значение 9, соответственно, $x_{\max}$ (рис. 1).

Средней оценке 5 должно соответствовать такое значение показателя x_5 , которое удовлетворяет условию: отношение $x_{\max}/x_5$ равно $x_5/x_{\min}$. Решая уравнение $(x_{\max}/x_5) = (x_5/x_{\min})$ получаем, что x_5 равно среднему геометрическому от $x_{\min}$, $x_{\max}$. Значение x_3 определяется по аналогии, как $\sqrt{x_3 x_{\min}}$; $x_5 = \sqrt{x_{\max} x_{\min}}$; $x_7 = \sqrt{x_5 x_{\max}}$, соответственно. Далее, x_2 – среднегеометрическое $\sqrt{x_{\min} x_3}$; $x_4 = \sqrt{x_3 x_5}$; $x_6 = \sqrt{x_4 x_7}$; $x_8 = \sqrt{x_7 x_9}$ и $x_{\min}$, x_2 , x_3 , ..., x_8 , $x_{\max}$ – средние значения, соответствующие 1, 2, 3, ..., 9 балам.

Граница разделения значений, соответствующих одному и двум баллам, вычисляется как $\sqrt{x_{\min} x_2}$. Далее границы между двумя и тремя баллами определяются как $\sqrt{x_2 x_3}$ и так далее. Наконец, границы между восьмибалльной и девятибалльной оценками вычисляются как $\sqrt{x_8 x_{\max}}$. Если информация по показателю неизвестна, при переводе в балльную оценку ему присваивается значение, равное 5. Максимальное и минимальное значения признаков, относительно которых рассчитывается шкала, выбираются из всех данных по ранжируемым объектам того или иного объекта оценки.

Рис. 1. Нелинейная неравномерная шкала оценки показателей

Для произвольной совокупности объектов $\{O_j\}$ с измерением x_j , обозначая через A минимальное из всех значений x_j , а через B – максимальное значение из всех x_j , имеем, что для построения шкалы с K градациями, необходимо рассчитать $K-1$ значение ($i=1, \dots, K-1$).

Например, для $K=9$: $\tilde{x}_i = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{2K-2}} \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{2(i-1)}{2K-2}}$ и, соответственно:

$$\tilde{x}_1 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{16}}; \tilde{x}_2 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{3}{16}}; \tilde{x}_3 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{5}{16}};$$

$$\tilde{x}_4 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{7}{16}}; \tilde{x}_5 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{9}{16}}; \tilde{x}_6 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{11}{16}};$$

$$\tilde{x}_7 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{13}{16}}; \tilde{x}_8 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{15}{16}};$$

Далее, все $x_j < \tilde{x}_1$ получают оценку 1 балл, все $\tilde{x}_i \leq x_j < \tilde{x}_{i+1}$ ($i = 2, \dots, K-1$) получают оценку i баллов и, наконец, все $x_j \geq \tilde{x}_{K-1}$ получают оценку (рис. 2) $\tilde{x}_i$, максимальную в K баллов.

Рис. 2. Шкала пересчета фактических значений параметра описания объекта в баллы

3. О целевом (минимально допустимом) уровне

Задание целевого или, соответственно, минимально допустимого уровня состояния безопасности возможно двумя способами:

- статистически (на основе обработки априорной информации об изменениях значения показателя, оценивающего состояние безопасности за период не менее 5 лет);
- экспертно (на основе консолидации мнений экспертов в области обеспечения безопасности о допустимых значениях соответствующих показателей).

Например, в соответствии с 116-ФЗ промышленная безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий. Рассматривая «аварии на опасных производственных объектах и последствия указанных аварий» как результаты реализации угроз «жизненно важным интересам личности и общества» понятие «**безопасность**» безотносительно к области применения можно рассматривать как осознанный личностью и обществом уровень допустимой опасности для их жизненно важных интересов. Концептуально это понятие определено в ГОСТ Р ИСО 31000-2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» в термине «риск»: **риск – влияние неопределенности на цели**.

Если цель обеспечения безопасности – достижение достаточного для личности и общества субъективного ощущения защищенности от опасностей, связанных

с любой производственной деятельностью, значит меры, направленные на достижение этой цели, должны снижать влияние (возможный ущерб, потери) и неопределенность (информации, места, времени) осознанной опасности на безопасность.

Осознание уровня допустимой опасности подразумевает использование процедуры оценки риска, которая является, по сути, единственной возможностью исследовать те вопросы обеспечения безопасности, на которые не может быть получен ответ из статистики, как, например, аварии с малой вероятностью реализации, но с большими потенциальными последствиями, события типа т.н. «черного лебедя» (термин, обозначающий события, субъективно оцениваемые как невозможные, и, как следствие, исключаемые из рассмотрения) и т.п. Незаменимость подхода, основанного на оценке риска существующих вариантов развития системы управления безопасностью, обусловлена высокой скоростью изменения процессов, а значит и соответствующих им данных, описывающих состояния системы и окружающей ее среды, приводящей к тому, что построенные на объемной статистике модели быстро устаревают и не отражают действительность. Вследствие вышесказанного, неизбежен переход от точечных оценок состояния системы управления безопасностью к интервальным интегральным оценкам.

4. Об интегральном показателе

В качестве интегральной оценки состояния производственной безопасности предлагается ввести в рассмотрение комплексную целевую метрику, представляющую собой свертку (взвешенную сумму) локальных показателей безопасности вида [14]:

$$\Phi = \sum_{v=1}^h \lambda_v \Phi_v(\alpha^i), \quad \Phi = \prod_{v=1}^h \Phi_v(\alpha^i)^{\beta_v} \quad (1)$$

где $\alpha^i \in D$; λ_v и β_v – весовые коэффициенты, полученные с использованием каких-либо дополнительных предположений о функционировании модели α^i ; эти коэффициенты зависят от достигнутых значений частных показателей $\Phi_v(\alpha^i)$; D – допустимое множество оценок.

Вопрос выбора типа свертки требует дополнительного исследования. Исходная посылка методов, основанных на свертках, заключается в том, что каждую отдельную альтернативу можно оценить численно. Однако поскольку каждая альтернатива зависит от многих переменных, то задача отыскания наилучшей альтернативы становится не тривиальной, так как точки в многомерном пространстве не могут быть упорядочены естественным образом.

Гипотетически можно представить себе случай, когда одна из альтернатив обладает наибольшими значениями всех сравниваемых критериев и, следовательно, является наилучшей. Однако на практике такие случаи почти не встречаются. Одним из наиболее распространенных и простых способов сравнения многокритериальных

альтернатив заключается в сведении многокритериальной задачи к однокритериальной, т.е. к замене функции векторного аргумента на скалярную функцию.

Данная операция в специальной литературе получила название вычисления свертки (построения суперкритерия, интегрального показателя), которая есть числовая мера, позволяющая сравнивать ее с мерами альтернатив.

В настоящее время наиболее широко используются следующие методы:

- взвешенное суммирование;
- аддитивная свертка;
- мультипликативная свертка.

Взвешенное суммирование основано на вычислении математического среднего. Множество коэффициентов должно удовлетворять условию нормировки, несоблюдение которого делает не сопоставимыми шкалы отдельных критериев и, следовательно, итоговые оценки альтернатив. Единственным достоинством взвешенного суммирования является простота вычислений, а недостатки сводятся к следующим: результатом вычислений являются абсолютные значения критериев, что не позволяет сравнивать между собой разнородные критерии (например, стоимость, расстояние, вес); значения критериев не приведены к диапазону $[0; 1]$ абсолютной шкалы, что позволяет использовать только свойства более «слабой» интервальной шкалы; среднее, как оценка альтернативы, не содержит доли критерия от его максимального значения, что не позволяет сопоставлять оценки, полученные в разных шкалах. Введение функции полезности имеет аксиоматическое обоснование в виде теоремы Р. Кини, которая утверждает, что однокритериальная функция полезности может быть либо аддитивной, либо мультипликативной [15].

Аддитивная свертка. Характерным свойством аддитивной свертки является то, что максимальную оценку с ее помощью получают те альтернативы, которые имеют больше критериев, близких по значениям к максимальным (при одинаковых средних у всех альтернатив). При изменении направления оптимизации приоритеты меняются на противоположные. Использование аддитивной свертки вместо взвешенного суммирования обладает следующими преимуществами: свертка переводит абсолютные значения в относительные, что позволяет сравнивать разнородные качества; свертка приводит значения критериев к диапазону $[0; 1]$ абсолютной шкалы, что позволяет осуществлять в ней все допустимые алгебраические операции; указание доли критерия от его максимального значения позволяет сопоставлять оценки, полученные в разных шкалах.

Мультипликативная свертка. Характерным свойством мультипликативной свертки является то, что она отдает предпочтение тем альтернативам, которые имеют более равномерное распределение в абсолютной шкале значений критериев при одинаковых средних всех альтернатив. Достоинства мультипликативной свертки аналогичны достоинствам аддитивной свертки.

5. О частных показателях

Структура показателей зависит от объекта управления и возможности получать регулярные данные о значениях, описывающих сам объект и среду его функционирования в признаках и характеристиках. Примером подобной структуры, может служить условная структура частных показателей процесса обеспечения производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций (рис. 3).

5.1. Показатель качества процесса обеспечения производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций ($\Phi_{ПБ}$)

Обобщенная оценка состояния производственной безопасности характеризует общий уровень состояния производственной безопасности организации с учетом количества, повторяемости, устранимости и тяжести несоответствий.

5.2. Показатель безопасности работников дочерних эксплуатирующих обществ и организаций ($\Phi_{ОР}$)

5.2.1. Показатель LTIF – частота случаев с потерей рабочего времени – удельные людские потери, случаи

потери трудоспособности (включая смертельные исходы и случаи с временной и постоянной потерей трудоспособности (инвалидность)) на 1 млн чел/ч работы. Это количество случаев потери рабочего времени (LTI), отнесенное к суммарному отработанному рабочему времени в подразделении или на предприятии (WH) за определенный период (обычно год) и нормированное на 1 млн чел/ч. Характеризует суммарное рабочее время, потерянное в результате полученных травм.

5.2.2. Показатель TRCF – частота общего количества регистрируемых несчастных случаев – число всех регистрируемых случаев (TRC), отнесенное к суммарному отработанному рабочему времени (WH) и нормированное на 1 млн чел/ч. Оперативно и комплексно отражает ситуацию по профтравматизму.

5.3. Показатель устойчивости дочерних эксплуатирующих обществ и организаций ($\Phi_{ВП}$)

5.3.1. Показатель технологической безопасности (Saf)

5.3.1.1. Количество аварий на объекте за пять лет.

5.3.1.2. Количество инцидентов 1-й группы на объекте за пять лет.

Рис. 3. Структура частных показателей безопасности процесса обеспечения производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций (условный пример)

5.3.1.3. Количество инцидентов 2-й группы на объекте за пять лет.

5.3.1.4. Показатель целостности (интегральный балльный показатель работоспособности), рассчитываемый согласно существующим отраслевым методикам. Расчет показателя проводится на основе логико-вероятностной оценки вероятности безотказной работы объекта, значимостей его технологических элементов с точки зрения влияния отказов этих элементов на его работоспособность, совокупного техногенного риска возможных аварий на нем.

5.3.2. **Показатель внеплановых потерь** (страховой защищенности) $LACE$ – относительные потери используемого капитала (*Lose of Average Capital Employed*) – безразмерный параметр (измеряемый в %), определяемый как отношение размера внеплановых потерь с учетом страховой защиты к среднему используемому капиталу [16]:

$$LACE = \frac{(1 - M) \cdot UPL}{ACE},$$

где UPL – внеплановые потери (включают сумму денежных эквивалентов материальных потерь, человеческого ресурса и финансовых потерь, включая компенсация потерь от перерывов производства, возмещение ущерба юридическим лицам и имуществу граждан, выплаты за негативное воздействие на окружающую среду) – через показатели более низкого уровня тесно связан с показателями промышленных рисков: индивидуальный риск; социальный риск; экономический риск; M – показатель страховой защищенности внеплановых потерь; ACE (*Average Capital Employed*) – средний используемый капитал.

В качестве «базы» для расчета $LACE$ должен быть выбран средний используемый капитал – по аналогии с определением целевого показателя первого уровня – рентабельности используемого капитала. Для отечественной практики более традиционной «базой» являются производственные расходы.

5.4. **Показатель зрелости системы управления производственной безопасностью объектов дочерних эксплуатирующих обществ и организаций, оцениваемый через метрику, обратную риску недоконтроля** (Φ_{PH})

Риск недоконтроля – комплексный показатель, характеризующий опасность для контролирующего органа пропустить объект (структурное подразделение), на котором потенциально возможно возникновение несоответствий и аварийных ситуаций. Риск недоконтроля определяет ранг (место) структурного подразделения дочернего общества в упорядоченном перечне объектов контроля. Риск недоконтроля рассчитывается независимо для предприятий разного типа (добычных, газотранспортных, переработки, ПХГ и т.п.) по общей схеме [17].

Показатель зрелости системы управления определяется как величина, обратная взвешенной сумме четырех показателей риска недоконтроля (оцененных в баллах):

$$\Phi_{PH} = 1 - \sum_{i=1}^4 \lambda_i \Phi_i,$$

где λ_i – показатели весомости соответствующей шкалы в единицах шкалы поправки, определяемые экспертно;

- показатель критичности объекта контроля (Φ_1) оценивает особенности ранжируемого структурного подразделения дочернего общества с точки зрения целей контроля (этот показатель является расчетным и тесно связан с показателями аварийности и неэффективным использованием газа). Рассчитывается сверткой отнормированных признаков описания структурного подразделения ранжируемого типа с соответствующими весами;

- показатель безусловной «уязвимости» объекта контроля (Φ_2) оценивает риск наложения санкций со стороны государственных надзорных органов и риск возникновения нежелательных последствий в результате неустранения нарушений, выявленных корпоративным контролем. Рассчитывается сверткой отнормированных признаков описания структурного подразделения ранжируемого типа с соответствующими весами;

- показатель (коэффициент) «влияния» объекта контроля (Φ_3) для объектов газотранспортной (газораспределительной) системы рассчитывается с использованием потоковой модели и статистических данных о структуре газопотребления в регионах РФ и характеризует важность выполнения объектом единицы товарно-транспортной работы. Для объектов, не являющихся объектами газотранспортной (газораспределительной) системы значение этого показателя принимается средним по РФ;

- показатель (коэффициент) «качества среды», в которой функционирует объект контроля (Φ_4) – безразмерная величина, рассчитывается по эмпирически подобранным статистическим данным о характеристиках филиалов в привязке к их территориальному размещению (имеет смысл безусловной уязвимости объекта); для каждой территории вследствие географических факторов, особенностей производственной структуры, социально-культурных, этнических, коррупционных и прочих различий требуется построение уникальных моделей расчета, в значительной степени опирающихся на субъективные оценки экспертов, знакомых с этой спецификой (основной источник информации для вычисления показателя «качества» среды функционирования объекта ранжирования – статистический ежегодник «Регионы России. Социально-экономические показатели»).

Веса показателей, приведенные на рис. 3 в качестве иллюстрации, могут быть получены путем экспертной оценки (например, методом попарного сравнения Т. Саати). Подробное описание метода широко освещено в литературе [18].

6. О методах получения качественной оценки

Для получения качественной оценки «лучше чем» предлагается применять метод И. Руссмана [19-21] (оценка трудности достижения целевого значения показателя), а для получения качественной оценки «не хуже чем» – метод статистических карт У. Шухарта [22-24] (оценка случайных и специальных причин вариаций в значении показателя).

6.1. Оценка трудности достижения целевого значения показателя

Метод применим, если существует заданное (требуемое) значение интегрального показателя, количественное выражение которого есть значение в точке C (рис. 4). При этом есть информация, чтобы оценить минимальную и максимальную скорости изменения показателя за прошлые периоды наблюдений.

Если с течением времени интегральный показатель попадает в заштрихованную область (см. рис. 4), то достижение цели в заданное время станет невозможным, поэтому эта область становится запретной, и приближение к ней надо рассматривать как угрозу невыполнения задачи и, соответственно, неудовлетворительную оценку состояния производственной безопасности.

В целях качественной оценки состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций, определим трудность достижения установленных целевых значений показателей как угрозу недостижения заданного целевого значения интегрального показателя безопасности. Трудность при этом – переменная величина, представляющая собой функцию относительно текущего положения показателя: она увеличивается при приближении значения показателя к некоторым допустимым границам, после преодоления которых достижение целевого значения практически невозможно.

При принятых допущениях трудность качественно характеризует вероятность недостижения цели. Графически за эту вероятность принимается отношение длины отрезка возможных скоростей к длине отрезка приемлемых скоростей (двигаясь с которыми постоянно, можно достигнуть заданное значение показателя не позже отведенного срока).

Критерии оценки «лучше чем» состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций накладывают ограничения на скорость изменения интегрального показателя, а именно:

Критерий 1. Скорость изменения интегрального показателя оценки состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций не может быть меньше минимальной скорости за весь предыдущий период измерений.

Критерий 2. Скорость изменения интегрального показателя оценки состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций не может быть отрицательной.

В случае выполнения этих двух условий (критериев) состояние производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций признается удовлетворительным, поскольку при любом текущем значении показателя остается ненулевая вероятность достижения поставленного целевого значения. Метод

Табл. 1.

№	Значение целевого показателя		Скорость изменения целевого показателя
	Ψ_t^k	Ψ_{t+1}^k	
1	0,950	0,940	1,0106
2	0,954	0,960	0,9938
3	0,950	0,910	1,0440
4	0,960	0,850	1,1294
5	0,980	0,982	0,9980
6	0,965	0,980	0,9847
7	0,982	0,930	1,0559
8	0,940	0,840	1,1190
9	0,968	0,974	0,9938
10	0,985	0,940	1,0479
11	0,991	0,990	1,0010
12	0,650	0,999	0,6507
13	0,999	0,890	1,1225
14	0,920	0,840	1,0952
15	0,925	0,500	1,8500

Рис. 4. Основные расчетные соотношения метода Руссмана

позволяет ранжировать дочерние эксплуатирующие общества и организации в зависимости от количественной оценки интегрального показателя.

Проиллюстрируем практическое применение метода Руссмана на примере анализа динамики условного интегрального показателя. Значения показателя Ψ^k за текущий год, в который выполняется оценка, и предшествующий год, приведены в табл. 1.

Скорость изменения значения показателя вычисляется по формуле $V = \frac{\Psi_{t+1}^k - \Psi_t^k}{\Psi_t^k}$, причем $V_{\max} = 1,8500$, а $V_{\min} = 0,6507$. Соответственно, углы наклона векторов скорости к оси абсцисс равны 61,60 и 330. Пусть также в качестве целевого значения показателя Ψ^k через $t+2$ года от момента начала оценивания установлено значение 0,96. Текущее среднее значение Ψ^k равно 0,941. Предположим теперь, что через год, в $t+1$ году, одно из обществ получило значение интегрального показателя Ψ^k , равное 0,946. Ситуацию иллюстрирует рис. 5.

Рис. 5. Расчетный пример. Критическое состояние системы

Для данной ситуации в соответствии с методом, предложенным Руссманом, имеем:

$$\varepsilon_1 = \frac{|E_1 E_2|}{|E_1 E_3|} = 0,4247; \quad \varepsilon_2 = \frac{|F_1 F_2|}{|F_1 F_3|} = 0,2499;$$

$$\mu_1 = \frac{|E_1 M|}{|E_1 E_3|} = 0,5338; \quad \mu_2 = \frac{|F_1 M|}{|F_1 F_3|} = 0,3528;$$

$$d_1 = \frac{\varepsilon_1 (1 - \mu_1)}{\mu_1 (1 - \varepsilon_1)} = 0,6448; \quad d_2 = \frac{\varepsilon_2 (1 - \mu_2)}{\mu_2 (1 - \varepsilon_2)} = 0,6110,$$

и, соответственно,

$$R_{t+1} = \max \left\{ \ln \frac{1}{1 - d_1}; \ln \frac{1}{1 - d_2} \right\} \cong 1.$$

Значение $R_{t+1} \cong 1$ показывает, что если темпы изменения показателя сохранятся, через год достигнуть целевого значения не получится. Видно (на рис. 5), что точка М, обозначающая текущее положение показателя, приблизилась к опасным границам AD_1C , за которыми с высокой вероятностью возможна потеря управляемости

и невыполнение целевой установки. Текущая ситуация требует внимания и корректирующих мероприятий. Для сравнения рассмотрим оценку интегрального показателя для другого общества, которое в том же $t+2$ году достигло более высокой оценки (рис. 6).

Для данной ситуации, соответственно:

$$\varepsilon_1 = \frac{|E_1 E_2|}{|E_1 E_3|} = 0,3633; \quad \varepsilon_2 = \frac{|F_1 F_2|}{|F_1 F_3|} = 0,1205;$$

$$\mu_1 = \frac{|E_1 M|}{|E_1 E_3|} = 0,7878; \quad \mu_2 = \frac{|F_1 M|}{|F_1 F_3|} = 0,4137;$$

$$d_1 = \frac{\varepsilon_1 (1 - \mu_1)}{\mu_1 (1 - \varepsilon_1)} = 0,1537; \quad d_2 = \frac{\varepsilon_2 (1 - \mu_2)}{\mu_2 (1 - \varepsilon_2)} = 0,1942;$$

$$R_{t+1} = \max \left\{ \ln \frac{1}{1 - d_1}; \ln \frac{1}{1 - d_2} \right\} = 0,2159.$$

Значение при таком развитии событий (опять предполагается, что скорости изменения показателя остались прежними) показывает, что если темпы изменения показателя сохранятся, то через год целевое значение вполне достижимо – риск невысок, точка, характеризующая положение показателя, находится практически на оптимальной траектории.

Рис. 6. Расчетный пример. Управляемое состояние системы

Оба значения интегрального показателя соответствуют вышеуказанным критериям и в обоих дочерних эксплуатирующих обществах состояние производственной безопасности удовлетворительное. Однако по сравнению с целевым значением показателя безопасности ситуация у второго общества качественно значительно лучше.

6.2. Оценка случайных и специальных причин вариаций показателя

Контрольная карта – это графическое средство принятия решений относительно стабильности или предсказуемости любого процесса, что определяет способы управления соответствующим процессом.

Теория контрольных карт различает два вида изменчивости. Первый вид – случайная изменчивость, вызываемая «общими» или «случайными» причинами. Она обусловлена широким набором таких причин, которые присутствуют постоянно, которые нелегко или экономически нецелесообразно в данный момент выявить, и среди которых нет заметно преобладающих. Однако в целом сумма всех этих причин создает то, что можно считать системной изменчивостью (вариабельностью) процесса. Предотвращение или уменьшение влияния обычных причин требует управленческих решений, направленных в первую очередь на изменение системы. Второй вид изменчивости представляет собой случайные вмешательства в процесс таких причин, какие не свойственны процессу внутренне, не принадлежат системе и могут быть обнаружены и устранены, по крайней мере, теоретически. Эти причины принято называть «специальными» или «особыми» причинами вариабельности. К ним, например, могут быть отнесены недостаточная однородность материала, поломка инструмента, ошибки персонала, невыполнение процедур, и т. п.

До тех пор, пока в процессе присутствуют специальные причины вариаций, он, по определению, предложенному Шухартом, является не стабильным, или не управляемым.

Поэтому цель контрольных карт – определить, стабилен ли процесс. Если нет, то главная задача – приведение процесса в стабильное состояние, для чего нужно найти коренные причины вмешательства в систему и устранить их. Если в процессе присутствуют только общие причины вариабельности, то он находится в статистически управляемом состоянии.

Важно иметь в виду, что границы контрольных карт Шухарта рассчитываются по данным о самом процессе, не имеют отношения к допускам, и не являются линиями каких-либо вероятностей. Для построения контрольной карты Шухарта требуются данные, получаемые от процесса через определенные временные интервалы с помощью выборок (подгрупп данных). Временные интервалы могут быть заданы либо временем, либо связываться с моментом проверки определенного количества объектов проверки. Обычно каждая выборка состоит из однотипных объектов проверки с одними и теми же контролируемыми показателями качества. Все выборки (подгруппы) чаще всего имеют равные объемы. Для каждой выборки (подгруппы) определяют одну или несколько статистических характеристик, таких, как суммарное число несоответствий, доля несоответствующих единиц продукции, среднее арифметическое значение, выборочный размах и т.п.

Контрольная карта Шухарта имеет центральную линию (CL) – рис. 7, 8.

При изучении процесса и оценке того, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии, центральной линией служит среднее арифметическое значение рассматриваемых данных. При управлении процессом центральной линией служит целевое значение характери-

стики качества продукции, определенное в технических условиях. Контрольная карта Шухарта также имеет две, определяемые на основе статистических данных, контрольные границы, обычно симметрично расположенные относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (UCL) и нижней контрольной границей (LCL). Контрольные границы находятся на расстоянии 3σ вверх и вниз от центральной линии ($\pm 3\sigma$), где σ – стандартное отклонение случайных вариаций используемой статистической характеристики (статистики) в генеральной совокупности. Изменчивость внутри выборок (подгрупп) является мерой именно таких случайных вариаций и не включает величину межгрупповых вариаций.

Средняя линия и границы регулирования отображают закономерности вариации контролируемой характеристики при нормальном осуществлении процесса, т. е. при отсутствии особых причин. Ордината средней линии соответствует статистической оценке положения, а контрольные границы – наибольшему и наименьшему пределам объективно присущего ей интервала варьирования. Карты по количественному признаку могут отобразить изменчивость качества как по разбросу, так и по положению.

Поэтому контрольные карты по количественному признаку рекомендуется анализировать попарно: одна карта для разброса и другая – для положения. Наиболее часто используется пара карт $\bar{X}$ и mR (рис. 7, 8). $\bar{X}$ – это среднее значение небольшой подгруппы (мера положения), mR – это размах значений внутри каждой подгруппы (мера разброса).

Пример признаков проявления особых причин на картах (то есть точек, требующих более пристального внимания и дополнительного исследования для определения причин таких отклонений):

- точки выше UCL или ниже LCL;
- длинная серия точек (7 и более) выше или ниже CL;
- возрастающая или убывающая длинная серия точек (тренд);
- иные проявления «неслучайности»:
  - а) существенно более 2/3 точек расположены в средней трети области между UCL и LCL (сосредоточены вблизи CL);
  - б) вблизи CL сосредоточены существенно менее 2/3 точек;
  - в) очевидные тренды в пределах коротких серий циклы трендов;
  - г) повторяющиеся различия результатов в пределах отдельных выборок (например, первое всегда больше остальных).

При определении контрольных границ Шухарт выбрал число 3 и для других видов распределения данных, отличных от нормального. Это сделано для того, чтобы не давать поводов к рассмотрению и расчету точных вероятностей, поскольку и для других распределений при числе 3 эти вероятности близки к единице. Поэтому для карт размахов и долей несоответствий также используют границы на расстоянии $\pm 3\sigma$ вместо точных вероятностных пределов, упрощая понимание и интерпретацию данных контроль-

Рис. 7. Карта выбросов от средних значений условного интегрального показателя состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций

Рис. 8. Карта размахов значений интегрального условного показателя состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций

ных карт. В этом смысле расчеты контрольных границ носят «приблизительный» – качественный характер.

Критерий оценки «не хуже чем» состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций накладывает ограничения на вариации (отклонения) значений интегрального показателя от среднего значения:

Критерий. Отклонения от среднего значения интегрального показателя не должны превышать три стандартных отклонения ($\pm 3\sigma$).

Вероятность нарушения контрольных границ очень мала (0,3%). Поэтому появление точки вне контрольных границ (наступление редкого события) следует рассматривать как воздействие на процесс неслучайных (специальных) причин.

При применении контрольных карт возможно два вида ошибок: ошибка первого и ошибка второго рода.

Ошибка первого рода возникает, когда процесс находится в статистически управляемом (стабильном) состоянии, а точка выходит за контрольные границы случайно. В результате принимается неправильное решение о том, что процесс вышел из стабильного, т.е. статистически контролируемого состояния, и делают попытку найти и устранить причину несуществующей проблемы. Вероятность такой ошибки 0,3% или три случая на тысячу (0,003). В случае возникновения ошибки первого рода

никакой особой причины нарушения стабильности процесса не будет найдено, поскольку процесс на самом деле находится в статистически управляемом состоянии. Факт выхода точки за контрольную границу в таком случае демонстрирует наступление редкого случайного события.

Ошибка второго рода возникает тогда, когда рассматриваемый процесс вышел из статистически управляемого состояния, но все точки контрольной карты оказываются внутри контрольных границ.

7. О построении суперкритерия

В случае применения двух описанных выше подходов одновременно, может возникнуть проблема принятия решения об оценке состояния безопасности, когда оценки окажутся различными.

Возникает задача построения интегрального суперкритерия $\Phi = \Phi(\Phi_1(\alpha), \dots, \Phi_k(\alpha))$ для выбора оптимальной оценки на допустимом множестве. Наиболее употребительными видами интегральных критериев, как показано выше, являются формулы (1) (см. [14]).

Если в (1) ввести обозначение $\lambda_v \Phi_v = \Phi_v$, то первая из приведенных выше оценок станет суммой значений локальных критериев, а при замене $\Phi_v^{\beta_v} = \Phi_v$ вторая интегральная оценка превращается в произведение локальных критериев, понимаемых как безразмерные величины ценностного типа. В обоих случаях интегральный критерий Φ может быть сконструирован с помощью многократного использования бинарной

ассоциативной и коммутативной операции и является целой аналитической функцией от локальных критериев $\Phi_v, v = 1, \dots, k$. Как было показано Руссманом, класс таких операций достаточно узок и существует только три (с точностью до постоянных параметров) бинарных операции, удовлетворяющих условиям коммутативности, ассоциативности и целой аналитичности. Они задаются тремя следующими функциями: а) c ; б) $\Phi_1 + \Phi_2 + c$; в) $a(\Phi_1 + \Phi_2) + b\Phi_1\Phi_2 + \frac{a(a-1)}{b}$; $a, b, c - \text{const}, b \neq 0$.

Им же показано (см. [14]), что именно третью из даваемых теоремой оценок (при определенных значениях входящих в нее коэффициентов) надо использовать для получения интегрального критерия качества при наличии взаимодействия между подсистемами и критериальными ограничениями Φ_v^{**} на области изменения локальных оценок.

Свертка трудностей для k критериев

$$d = 1 - \prod_{v=1}^k (1 - d_v).$$

Руссман отмечает, что возможно использовать другие типы свертки, удовлетворяющие условиям коммутативности, ассоциативности, но не являющиеся целыми аналитическими функциями. Как пример он приводит свертку вида $\Phi = \max(\Phi_1, \Phi_2)$, которая будет именно такой. Подобного рода свертки часто используются в тех случаях, когда качество всей системы определяется качеством функционирования ее слабой подсистемы.

Заключение

Резюмируя сказанное, отметим, что главный вывод вышеприведенных рассуждений и построений состоит в очевидной идее: не стоит пытаться работать только с конкретными событиями в области безопасности. Все эти события характеризуются набором свойств и сопутствующих факторов, у которых есть соответствующие характеристики. Нужно стараться определять каждое свойство и определять каждую характеристику этого свойства, что позволит затем определять проактивные и реактивные действия управления как реакцию на изменения этих характеристик и свойств. Таким образом, отработав свойство ситуации или события, мы отработаем свойство риска, и совершенно не важно в каком конкретном риске это свойство будет проявляться. Комбинаций свойств риска может быть крайне много, потому конкретные ситуации предсказывать крайне сложно. Следствием этого является необходимость создания проактивной системы поддержки принятия решений, которая на качественном уровне помогает ЛПР в преддверии критического события. И при этом совершенно не важно, в результате какого катаклизма произойдет это критическое событие, важно, что будет возможно четко определить, какой уровень характеристики свойства для предприятия (проекта, объекта) критичен и что предприятию (менеджеру проекта, эксплуатанту) следует сделать, чтобы отодвинуть этот критический уровень.

Вероятность не должна измеряться субъективной оценкой. Именно тогда, когда начинают оперировать субъективными оценками вероятности, и происходит подмена объективного понятия невозможного события (типа «черного лебедя» Насима Талеба), на субъективное. А в субъективном понимании, «черным лебедем» может стать любое нештатное и даже штатное событие. Здесь важна четкая и однозначная грань.

Применение наиболее эффективных форм управления безопасностью неразрывно связано с активным использованием окружающего и внутреннего информационного пространства, состояние которого определяется специфическим видом ресурсного обеспечения деятельности – так называемым информационным ресурсом.

Содержание концепции формирования информационного ресурса системы управления составляет совокупность методов и методик организации информационных процессов в производственных системах, позволяющих осуществить выбор и использование необходимого информационно-технического решения для получения информации о производственной ситуации.

Как следствие, выделяют следующие задачи управления:

- задача целеполагания – определение требуемого состояния или поведения системы;
- задача стабилизации – удержание системы в существующем состоянии в условиях возмущающих воздействий;
- задача выполнения программы – перевод системы в требуемое состояние в условиях, когда значения управляемых величин изменяются по известным детерминированным законам;
- задача слежения – обеспечение требуемого поведения системы в условиях, когда законы изменения управляемых величин неизвестны или изменяются;
- задача оптимизации – удержание или перевод системы в состояние с экстремальными значениями характеристик при заданных условиях и ограничениях.

Можно сказать, что необходимо принять к исследованию безопасности подход кибернетики, которая практикует информационный подход к исследованию процессов управления, который выделяет и изучает в объектах исследования различные виды потоков информации, способы их обработки, анализа, преобразования, передачи и т.д. Под управлением при таком подходе в самом общем виде понимается процесс формирования целенаправленного поведения системы посредством управляющего информационного воздействия на нее человеком или устройством.

Библиографический список

1. Бочков А.В., Сафонов В.С. Специфика анализа и оценок показателей риска редких событий на опасных производственных объектах // Вести газовой науки. 2020. № 1 (42). С. 84-95.
2. Колесников Е.Ю. Тематика неопределенности в публикациях журнала «Проблемы анализа риска» // Проблемы анализа риска. 2019. 16(3). С. 78-93.

DOI:10.32686/1812-5220-2019-16-3-78-93

3. Huygens C. (1657). De calcul dans les jeux de hazard. Oeivtr. Comply t. 14. La Haye, 1920, pp. 49-91, франц. и голл. Русский перевод с франц. В книге Шейнин (2006, с. 28-42).

4. Bernoulli J. Ars conjectandi, opus posthumum. Accedit Tractatus de seriebus infinitis, et epistola gallicé scripta de ludo pilae reticularis. Basel: Thurneysen Brothers, 1713.

5. Boole G. An Investigation of the laws of thought on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities. New York: Dover, 1957. 424 p.

6. Laplace P.S. Le Systeme du Monde. Paris, 1795. / Русский перевод: Лаплас П.С. Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. 376 с.

7. Бочков А.В. О природе рисков в управлении безопасностью структурно сложных систем // Надежность. 2019. № 4. С. 53-64. DOI:10.21683/1729-2646-2019-19-4-53-64

8. Бочков А.В. О методе синтеза рисков в управлении безопасностью структурно-сложных системам // Надежность. 2020. №1. С. 57-67. DOI:10.21683/1729-2646-2020-20-1-57-67

9. Пономаренко Д.А., Бочков А.В. Научно-методические основы мониторинга и прогнозирования состояния производственной безопасности ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2017. № 3 (749). С. 20-30.

10. Пономаренко Д.В., Бочков А.В., Лесных В.В. Современные подходы к мониторингу состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 1. С. 6-17.

11. Bochkov A. Hazard and Risk Assessment and Mitigation for Objects of Critical Infrastructure // Diagnostic Techniques in Industrial Engineering. Management and Industrial Engineering / Ram M., Davim J. (eds), Springer, Cham, 2017. P. 57-135. DOI:10.1007/978-3-319-65497-3_3

12. Bochkov A., Zhigirev N. Development of Computation Algorithm and Ranking Methods for Decision-Making under Uncertainty // Advanced Mathematical Techniques in Engineering Science. Series: Science, Technology and Management (May 17, 2018) / Ram M., Davim J. (eds). CRC Press, 2018. P. 121-154.

13. Bochkov A., Lesnykh V., Lukyanchikov M. Problem of Creation of Integrated Index of Assessment of Production Safety Condition at Hazardous Production Facilities / Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference. Edited by Michael Beer and Enrico Zio. Research Publishing, Singapore, 2019. P. 1643-1650. DOI:10.3850/978-981-11-2724-3 0077-cd

14. О некоторых способах выбора интегрального критерия качества в задачах оптимального проектирования машин / И.И. Артоболевский [и др.] // Изв. АН СССР. Машиноведение. 1978. № 2. С. 3-10.

15. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

16. Барсуков А.Н., Быков А.А., Лесных В.В. Формирование системы индикаторов и показателей внешних и кризисных ситуаций на объектах ЕСГ // Промышленная и экологическая безопасность объектов газовой промышлен-

ности: Сб. науч. тр. М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2008. С. 76-86.

17. Об особенностях применения рискориентированного подхода при организации отдельных видов инспекционной контрольной деятельности в ПАО «Газпром» / М.И. Лукьянчиков [и др.] // Газовая промышленность. 2020. № 1 (795). С. 20-27.

18. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.

19. Гайдай А.А., Руссман И.Б. Непрерывный контроль процесса достижения цели // УБС. 2004. № 7. С. 106-113.

20. Берколайко М.З., Долгих Ю.В., Иванова К.Г. Трудности в смысле И.Б. Руссмана и оценка надежности управления // Вестник ВГУ (Серия: Системный анализ и информационные технологии). 2008. № 2. С. 5-9.

21. Берколайко М.З., Долгих Ю.В. Применение аппарата трудностей к оценке надежности управления организационными системами // Сборник трудов X Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». С-Пб., 2006. С. 28-34.

22. Коуден Д. Статистические методы контроля качества / Пер. с англ; под ред. Б.Р. Левина. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. 623 с.

23. Адлер Ю., Шпер В. Практическое руководство по статистическому управлению процессами. М.: Альпина Паблишер, 2019. 234 с.

24. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 36 с.

Сведения об авторе

Александр Владимирович Бочков – доктор технических наук, начальник отдела анализа и ранжирования объектов контроля Администрации ООО "Газпром газнадзор", Российская Федерация, Москва, e-mail: a.bochkov@gmail.com

Вклад автора в статью

Автором, в рамках единой концепции системы мониторинга за состоянием безопасности структурно-сложных систем и объектов, обобщены способы качественной оценки состояния безопасности двух видов: «лучше чем» (при определении некоторого целевого уровня, характеризующего состояние безопасности, которое надо достигнуть в идеале) или «не хуже чем» (при определении некоторого предельно допустимого уровня, характеризующего состояние безопасности, ниже которого недопустимо опускаться), подразумевающие некоторые интервалы отклонений от заданных целевого или, соответственно, минимально допустимого уровней, в пределах которых состояние безопасности, оцениваемое интегральным показателем, считается удовлетворительным.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.