



О развитии подходов системной оценки безопасности при проектировании технических систем

© 2023, Д.И. Лобач

Департамент по ядерной и радиационной безопасности

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация

Задача исследования заключается в разработке и развитии аналитических подходов для сравнительной оценки безопасности технических систем при осуществлении экспертной деятельности. Определены приоритетные направления подбора количественных демонстрационных показателей устройств и технологий, рекомендации для выбора стратегий экспертной работы при проведении экспертиз и экспертных оценок безопасности технических систем. Разработан фактологический подход для относительного (рейтингового) сравнения проектируемых, планируемых или применяемых технологий без использования экспериментальных данных при отсутствии эксплуатационного опыта. Показаны новые возможности для расширения экспертных оценок и анализа проектов оборудования и технологических решений. Их новизна заключается в применении подходов развивающейся концепции сэйфеометрики и состоит в использовании правдоподобных закономерностей для количественной оценки параметров, содержащихся в проектно-технической документации и характеризующих технические системы и комплексы. Данные для анализа могут быть подготовлены (собраны) экспертами или проектантами на основании требований и рекомендаций экспертов.

Ключевые слова: *принятие решений, безопасность, техническая система, сэйфеометрика, опыт, экспертиза, оценка проекта.*

Цитирование: *Лобач Д.И. О развитии подходов системной оценки безопасности при проектировании технических систем // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №4(50). С.615-624. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-615-624.*

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Принятие управленческих решений по вопросам развития технических систем (ТС) должно основываться на достоверных фактах, правдоподобных моделях развития и соответствующих количественных закономерностях. Субъективное понимание производственного случая может приводить управленческий персонал к неоднозначному толкованию ситуации с позиций выполнения последующих действий, неадекватному осознанию последствий. Наибольшую ясность в ходе обсуждений и пояснений могут иметь численные сравнения с ранее достигнутыми показателями [1]. Даже относительные количественные результаты рассмотрения позволят уменьшить неопределённость при принятии решений.

Одним из важнейших показателей производства ТС является их безопасность в контексте сохранности и защищённости техники и обслуживающего её персонала. Уровень безопасности (его величина связана с вероятностью отсутствия рисков неблагоприятных событий), характеризующий это состояние, определяет существующие производственные показатели и социальные характеристики обстановки в организации.

Долгое время безопасность связывали только с происшествиями и авариями с оборудованием и не ассоциировали с его состоянием или рабочей средой [2]. Приоритетным объектом изучения была техника, а вопросам безопасности персонала должного значения не при-

давалось. В XX веке стали уделять более пристальное внимание причинам происшествий и аварий, например, старению техники, человеческому фактору, ошибкам в организационной деятельности, культуре безопасности.

Реализация сущности состояния безопасности осуществляется через системы безопасности (СБ), принимаемые при этом организационные и технические решения и меры. Эффективность функционирования СБ (выполнения функций, заданных проектной документацией), как части производства, зависит от многочисленных факторов и влияет на производство продукции. СБ могут являться частью ТС или не входить в их состав. Технические средства СБ изготавливаются в соответствии с документацией для проекта промышленного объекта, устройства, системы или технологии (далее – проект).

Оценка уровня безопасности устройств может проводиться по фактическим техническим параметрам и расчётным моделям процессов. Одна из задач удовлетворения оборудования потребительским свойствам при его использовании – сохранение безопасности на проектном уровне. Для этого проводятся периодические оценки состояния оборудования.

Части устройств и ТС имеют разные условия эксплуатации, состав компонентов и характеристики старения. При различных скоростях старения и износа элементов оборудование в целом может удовлетворять потребностям качеством и характеристикам проекта. При этом не требуется уделять внимание его обслуживанию или выделять ресурсы на его техническое поддержание. В ряде случаев состояние функциональности характеризуется уровнем безопасности устройства, который можно рассчитать, прогнозировать и отслеживать в ходе эксплуатации. Особенно это актуально для автономных и роботизированных систем.

Количественная оценка уровня безопасности является составной частью формирования совокупности данных цифрового производства, поскольку может быть использована для построения интеллектуальных моделей производств, управления или принятия решений. Плановые ориентиры производства базируются на цифровом анализе значений показателей.

Оценки безопасности и производственных возможностей для технологических прототипов, которые имеют отличия от существующих решений, базируются на наилучших ожиданиях от проектов, на проведении сравнений с существующими решениями. Для достоверной оценки безопасности инновационных технологий в конструкциях требуется продолжительное время наработки исходных данных для расчётов надёжности и рисков аварий. Полученная информация может применяться в ходе оценки безопасности для референтных комплексов и для формирования планируемых параметров экспериментальных проектов. Однако принятие оперативных управленческих решений может потребоваться в период отсутствия баз данных эксплуатационного опыта.

Например, существующие документы Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) не содержат рекомендаций для анализа новых проектов с целью их быстрой реализации. Традиционные подходы к оценке безопасности и риска базируются на данных эксплуатационного опыта. По этой причине вопросы экспертиз и экспертных оценок не могут быть решены применением методов детерминированного и вероятностного анализов. В качестве вспомогательных математических методов для оценок и анализа известны примеры переноса прикладных подходов из одних сфер в другие, например, применения евклидовой метрики [3] и кластерного анализа [4, 5].

При отсутствии данных эксплуатационного опыта развёртываемого или существующего производства численные относительные оценки можно получить с использованием разрабатываемых экспертных аналитических подходов и концепций (например, [1, 6, 7]). Этот подход базируется на переносе аналитических концепций хемометрики [8, 9] в сферу науки о безопасности при изучении количественных величин для системной оценки уровня безопасности ТС. Вместо эксплуатационных параметров здесь в ходе относительного сравнения

предлагается использовать характеристики из проектной документации для отдельных систем, устройств или технологий, а также совокупность этих характеристик. Для случаев отсутствия достаточного массива данных эксплуатационного опыта, например, в МАГАТЭ уже запланирована разработка нового документа [10].

Необходимость подтверждения безопасности инновационных технологий возникает, например, при разработке принципиально новых конструкций ядерных реакторов, а также при использовании инновационных технологий для существующих ТС.

1 Проблемы экспертных оценок

В ходе строительства производств или комплексных объектов может проводиться несколько оценок безопасности, в т.ч. по причине текущих изменений исходного проекта. Прогнозные показатели могут относить технические проекты к разным поколениям оборудования с различными уровнями обеспечения безопасности. Результаты оценок и экспертиз в совокупности обеспечивают продвижение передовых и быстро реализуемых проектов.

Активные действия по рассмотрению и сравнению проектов предпринимаются в сфере атомной энергетики. МАГАТЭ проводит последовательную работу по синхронизации знаний в этой сфере, организует подготовку по этому направлению рекомендаций для профессионалов и разработку руководства по безопасности [10]. Опыт из атомной промышленности можно использовать для других проектов и производств, в которых актуальны СБ и охрана окружающей среды.

На необходимость уделить особое внимание случаям, когда конструкция ТС и её элементы ещё недостаточно изучены на практике, не имеют эксплуатационного опыта, отмечается в документах МАГАТЭ [11, 12]. Новые проекты реакторов могут включать известные инженерные практики, использовать существующие конструкции, системы и компоненты. Прототипы или демонстрационные установки обычно находятся на разных стадиях готовности и проработки проектов, изучения их параметров, наличия эксплуатационных данных. С учётом опыта атомной промышленности при проведении экспертной деятельности можно выделить следующие группы проектов ТС:

- полностью новые проекты;
- усовершенствованные конструкции с внедрением инновационных подходов к обеспечению безопасности, применением неапробированных технологий;
- конструкции с использованием в атомной промышленности апробированных технологий из других секторов промышленности;
- проверенная ядерная технология, применённая в новых условиях или применении (например, с новыми оборудованием, элементной базой или целями), с эволюционирующими конструкциями, типовыми технологическими схемами оборудования.

В [10] приводится перечень вопросов при подтверждении безопасности инновационных технологий. Применительно к экспертной деятельности можно отметить следующие основные группы проблем использования новых технологий:

- недостаток информации о природе функционирования технологий (условия функционирования проекта, свойства материалов, механизмы деградации и старения материалов, а также наличие синергии процессов и явлений);
- недостаток данных эксплуатационного опыта;
- отсутствие опыта управления новыми технологическими решениями;
- отсутствие опыта регулирования безопасности технологий на уровне требований и положений современных норм, правил, кодексов и технических стандартов;

- ограниченная применимость существующих подходов к проектированию ТС, включая СБ, используемые в обычных реакторах;
- невозможность полноценного применения для новых проектов традиционных подходов и методов оценки безопасности, как для действующих технологий.

Для системного управления производством необходимо разрабатывать временные диаграммы, в которых отмечаются моменты времени для значимых технологических событий. Время принятия решения не должно запаздывать по отношению к событию. Начало принятия решения для аварийных событий обычно соответствует времени события. Для неаварийных событий принятию решения должен предшествовать подготовительный период.

Традиционные подходы к оценке безопасности проектов ТС основаны на использовании термодинамических величин и состояний, которые получены в ходе наработки эксплуатационного опыта. Для экспертных оценок важно располагать вспомогательными методами сравнения, опирающимися на имеющиеся данные, не требующие дополнительного времени их наработки. На основании методологии сэйфеометрики использование сравнения количественного изменения уровня безопасности или других показателей базируется на их отличиях в старых и новых технологиях [1, 6]. Полученные в ходе анализа количественные закономерности могут быть использованы для относительного или рейтингового сравнения проектируемых, планируемых или применяемых технологий без длительной наработки экспериментальных данных.

2 Вспомогательные экспертные оценки

Сравнение проектов проводится по доминирующим ключевым признакам, которые выделяют существенное различие или технические преимущества проектов. Зачастую такие признаки формируют и выявляют семейства или поколения оборудования или технологий, например, двигателей (по принципу действия и применяемому топливу), атомных электростанций (по применяемому ядерному топливу, реакторам, СБ) и т.п. Такие доминирующие признаки определяют применимость используемого оборудования, систем, технологий. В ходе выбора проектов используются экономические критерии, связанные с продвижением к новым технологиям. Характеристики проектов могут изменяться при модернизациях и модификациях устройств, систем и технологий.

При наличии эксплуатационного опыта и данных (температура и давление, вероятности, риски и др.) для экспертных качественных оценок безопасности и эффективности оборудования (например, результативности СБ или КПД рабочих систем) с использованием статистики с высоким уровнем доверительной вероятности следует опираться на объективные количественные параметры технических проектов или их комбинации. Необходимо выработать систему представительных демонстрационных показателей технологий, которые позволят проводить значимые для анализа экспертные оценки или будут дополнять существующий набор экспертных методов и технологий принятия решений.

Для развития вспомогательных аналитических концепций предпочтительно использование анализа количественных величин, поскольку при этом возможно проведение относительных сравнений и проведение численного моделирования.

Целью использования общих подходов в сэйфеометрике является начальное, без эксплуатационного опыта, рассмотрение конструкции, смягчение и/или устранение неизвестных факторов, связанных с инновационной технологией, для понимания их влияния на безопасность [1]. По этим направлениям осуществляется экспертный поиск методов вспомогательного анализа.

Физические параметры проекта ТС могут быть измерены приборами и оценены при помощи шкал физических величин, где имеются принятые эталоны и масштабы. В сэйфеометрике применение различных шкал и масштабов зависит от имеющейся в распоряжении совокупности данных и их статистики. При недостатке информации, например, если она характеризует только два состояния, то возможно только относительное сравнение величин Q_1/Q_2 , а не их разность ($Q_1 - Q_2$), поскольку масштаб неизвестен.

Реальные ТС сложны, поэтому для оценки их функционирования экспертами используются модели. Например, можно взять некоторые первичные параметры проекта ТС: N_{PC} – количество рабочих систем (РС), N_{CB} – количество СБ для рассматриваемой ТС, M_{Φ} – количество проектных или запроектных факторов опасности для этой ТС. Эти характеристики из проектной документации являются независимыми друг от друга и формируют множество параметров сэйфеометрики. Они могут быть измерены в единицах (ед.). Можно допустить, что величины и события независимы, и для их суперпозиций использовать теорему умножения вероятностей.

Некоторые соотношения показателей сэйфеометрики могут характеризовать возможности ТС, т.е. их потенциал. Такие комплексные величины раскрывают отдельные свойства проекта ТС и формируют множество потенциалов сэйфеометрики, например, $\alpha = N_{CB}/M_{\Phi}$ – степень опасности, $\tau = N_{CB}/N_{PC}$ – уровень технической оснащённости СБ, $\theta = 1/\tau = N_{PC}/N_{CB}$ – технологическая насыщенность проекта ТС. Эти величины определены в относительных единицах.

Указанные параметры и потенциалы сэйфеометрики являются детерминированными, поскольку их величины имеют конкретные значения из документации проекта ТС. Уровень безопасности ТС Q , как комплексная количественная характеристика, зависящая только от детерминированных величин параметров и потенциалов сэйфеометрики, тоже является детерминированной характеристикой и относится к потенциалам. Уровень безопасности может быть количественно оценён в относительных единицах как Q_1/Q_2 .

Количественные величины параметров и потенциалов сэйфеометрики являются независимыми, поэтому соотношения между ними могут быть эмпирическими. Провести эксперименты на реальных ТС в этой сфере практически невозможно из-за высокой их стоимости и из-за комплексного влияния человеческого фактора на начальное и конечное состояния. Как и в хеометрике, использование закономерностей теории вероятностей и математической статистики позволяет перейти от эмпирических закономерностей к функциональным [6, 7].

В [1] рассмотрена эмпирическая инвариантная зависимость между потенциалами сэйфеометрики $\alpha \times Q = const$ для систем с $\tau = const$ и указаны основные закономерности переходов между ТС с разными значениями τ . Для разных значений τ можно получить объединённый инвариант для потенциалов сэйфеометрики $\frac{\alpha \times Q}{\tau} = const$. Свойства вытекающих из этого выражения эмпирических частных инвариантных зависимостей описаны в [1].

Используя исходные выражения связи параметров и потенциалов, можно получить объединённый инвариант для параметров сэйфеометрики: $\frac{N_{PC} \times Q}{M_{\Phi}} = const$. Это выражение позволяет получить эмпирические частные инвариантные зависимости для трёх случаев, которые пред-

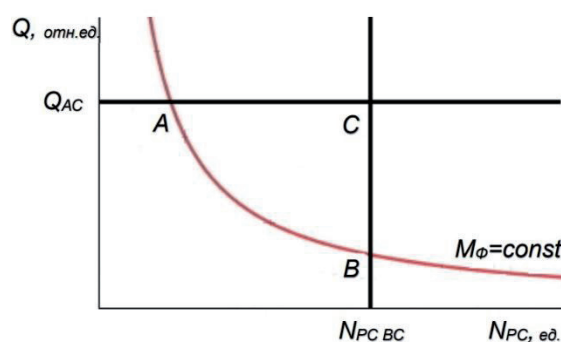


Рисунок 1 – Примеры эмпирических частных инвариантных зависимостей между некоторыми параметрами сэйфеометрики (AB гипербола; AC: $Q_{AC} = const$; BC: $N_{PC BC} = const$)

ставлены на рисунке 1 и могут быть использованы при проведении экспертного рассмотрения проектов ТС для следующих ситуаций.

- При $M_{\Phi} = const$ для одной и той же системы $\Rightarrow N_{PC} \times Q = const$, поэтому с ростом N_{PC} уровень безопасности элементов Q в проекте уменьшается. Причиной этого - то, что в проекте ТС зафиксировано N_{CB} . Для компенсации понижения Q необходимо увеличить N_{CB} . Если имеются разные системы, которые отличаются только величиной N_{PC} , то можно определить соотношение в них уровней безопасности, как Q_1/Q_2 .
- Для систем с одинаковым значением N_{PC} : $N_{PC} = const \Rightarrow Q/M_{\Phi} = const$, т.е. при увеличении проектных или запроектных факторов опасности M_{Φ} уровень безопасности элементов Q в проекте требуется увеличить. Если имеются разные системы с одинаковым значением N_{PC} , то из соотношения Q_1/Q_2 уровень безопасности Q должен быть больше там, где больше проектных или запроектных факторов опасности M_{Φ} .
- Для обеспечения одинакового уровня безопасности Q в разных системах или сохранения уровня безопасности ($Q = const$) в одной и той же системе используется эмпирическая частная инвариантная зависимость $N_{PC}/M_{\Phi} = const$ (ситуация рассматривается экспертом для конкретных случаев). Если по документации проекта ТС каждой РС соответствует одна СБ (например, имеется выключатель РС, $N_{CB} = N_{PC}$), то при увеличении проектных или запроектных факторов опасности M_{Φ} количество СБ N_{CB} требуется увеличить. Бóльшее N_{PC} или N_{CB} выдержит влияние бóльшего количества проектных или запроектных M_{Φ} .

Взаимосвязи показателей и параметров элементов в глубокоэшелонированной защите ТС также могут использоваться при сравнении проектов. Для подбора более простых количественных демонстрационных показателей технологий и зависимостей, которые показывают достоинства и отличия проектов ТС, требуется провести дополнительное исследование.

Удобными для оценки и практического анализа являются задачи определения функциональных зависимостей от одного параметра, от которых можно переходить к многопараметрическим связям. Исходное аналитическое рассмотрение удобно начинать с максимального упрощения ситуации, уменьшения количества потенциальных и фактических связей и зависимостей между параметрами.

При разработке новых параметров для анализа необходимы:

- всестороннее выявление проблем;
- изучение неопределённостей, их воздействия и потенциального их смягчения;
- использование общих подходов для устранения проблем и неопределённостей;
- применение дифференцированного подхода, основанного на оценках риска применения инновационной технологии.

В качестве таких параметров можно взять комплексные характеристики технологии, например: количество СБ; характеристики окружающей технологию среды; количество факторов опасности для функционирования ТС или её компонентов.

Для оценки «слабых» сторон проектов необходимо сформировать отдельный массив данных для особого внимания и анализа при эксплуатации и надзоре. В таком массиве следует осуществить ранжирование элементов по важности для безопасности и периодически обращаться к их рассмотрению в ходе проведения экспертной оценки или экспертизы.

3 Пример количественной оценки безопасности

В процессе функционирования предприятия, реализации проекта возникают вопросы развития производства, технологии проекта, выгодного вложения средств и усилий управления. Можно выделить два подхода: детальное рассмотрение и поддержание всех элементов

производства; использование потенциала технологий и вкладывание свободных ресурсов в «слабые» звенья проекта. Первый подход может быстро истощить возможности производства, распылить имеющиеся ресурсы. Второй – оптимизирует расходы, удобен при уменьшении численности персонала и повышении автоматизации производства.

Внедрение СБ должно сопровождаться реализацией организационных и технических мероприятий, проведением работы с персоналом, повышением его профессионализма и адаптацией к применению технологий производства и СБ. Если на практике предпринимаются не все указанные меры, то можно ввести величину ε – эффективность использования СБ. Основной упор на общую организационную работу без учёта влияния человеческого фактора может дать значительный вклад в безопасность лишь на начальном этапе вложения ресурсов. На практике роль организационных действий преувеличивается, поскольку при этом не создаётся требуемая устойчивая и возобновляемая профессиональная база для эксплуатации оборудования. Если в этот период не уделяется внимание обучению специалистов и повышению их профессионализма, то в дальнейшем использование СБ не будет полноценным.

Для эффективного использования СБ требуется развивать интеллектуальный и творческий потенциал персонала, который в дальнейшем будет полноценно обеспечивать функционирование СБ при меньших затратах. В совокупности это может вызвать эффект синергии в безопасности, который проявляется в повышении уровня безопасности от синхронизации как действий людей, так и работы технологических узлов производства.

Исследования показывают формирование клипового мышления у современных людей, которое проявляется уже на этапах обучения [13]. Поэтому необходимо применять простые количественные закономерности, которые могут позволить получить быстрый результат при сравнении абсолютных или относительных рассматриваемых величин.

Для оценки производственных действий можно предположить, что величина уровня безопасности $Q(E)$ в относительных единицах будет иметь простые эмпирические зависимости от экономических затрат на обеспечение безопасности E (выраженных в денежных единицах, ден.ед.). Для некоторых частных случаев производственных решений в виде степенных функций, удобных для анализа и сравнения (см. рисунок 2):

$$Q(E) \sim E^\varepsilon, \begin{cases} 0 < \varepsilon < 1 & \text{неэффективный подход,} \\ \varepsilon = 1 & \text{экстенсивный эффективный подход,} \\ \varepsilon > 1 & \text{эффективный подход с синергией.} \end{cases}$$

Из рисунка 2 видно, что при эффективном подходе проектный уровень безопасности $Q_{пр}$ достигается при меньших экономических затратах, чем при неэффективном подходе.

Рассмотренные подходы к решению задач сравнения проектов ТС в целях оценки уровня СБ позволяют получить дифференцированные оценки проектов. Эти задачи являются ключевыми в сфере экономики безопасности производства. Применение принципа *ALARA* (от англ. *As Low As Reasonably Achievable*) в отношении людей [14] и новых подходов, например, сэйфеометрики [1, 6] позволяют проводить сбалансированное ведение бюджета производства. Количественные оценки параметров проектов позволяют провести относительные сравнения экономических затрат проектов, а также оценить потенциальные затраты для новых проектов.

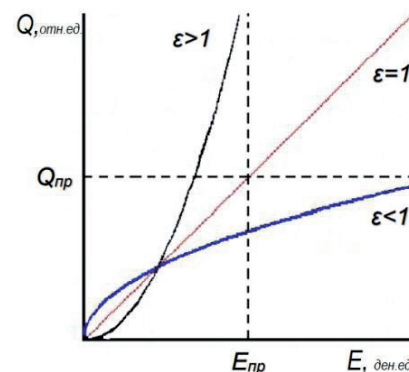


Рисунок 2 – Примеры зависимостей изменения уровня безопасности Q от экономических затрат E для разной эффективности использования СБ ε

Заключение

Предложенный вспомогательный анализ количественных закономерностей позволяет провести первичную оценку преимуществ инновационных технологий, сравнительную оценку безопасности технических комплексов, целевую предэксплуатационную оценку параметров оборудования, сформировать планируемые отличительные параметры для реализации новых, экспериментальных и коммерческих технических проектов.

МАГАТЭ уделяет внимание оценке безопасности инновационных технологий, поскольку растет интерес к современным реакторам, например, малым модульным реакторам [10]. Многие из этих конструкций реакторов могут включать инновационные технологии и методы производства. Демонстрация безопасности применяемых инноваций в конструкциях энергетических реакторов необходима для обеспечения безопасности результирующего продукта.

Применение подхода сэйфеометрики для относительного или рейтингового сравнения проектируемых, планируемых или применяемых технологий позволяет получить оценки без использования длительной наработки практических и экспериментальных данных, при отсутствии достаточного эксплуатационного опыта.

Для расширения возможностей экспертных оценок и анализа при рассмотрении проектов оборудования и технологических решений с использованием количественной оценки их параметров с новыми подходами требуются дополнительные данные из проектов ТС. Эти данные должны быть подготовлены экспертами или проектантами на основании требований или рекомендаций экспертов.

Список источников

- [1] *Лобач Д.И.* О развитии экспертных возможностей для рассмотрения проектов оборудования и технологических решений // Системный анализ и прикладная информатика. 2023. №2. С.38-41. DOI: 10.21122/2309-4923-2023-2-38-41.
- [2] *Кузнецова Е.А.* Что такое наука о безопасности? // Социально-трудовые исследования. 2019. №36(3). С.76-85. DOI: 10.34022/2658-3712-2019-36-3-76-85.
- [3] Разработать систему дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС: отчёт о НИР № ГР 20213623 / ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»; рук. О.Н. Любочко. Минск, 2022. 186 с.
- [4] *Бериков В.С., Лбов Г.С.* Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. 26 с.
- [5] *Мандель И.Д.* Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
- [6] *Лобач Д.И.* Новые проблемы, методология и возможности сэйфеометрики // Промышленная безопасность. 2023. № 01. С.34-36.
- [7] *Лобач Д.И., Ракитская Д.В.* Сэйфеометрика. О количественной оценке величин при определении уровня безопасности // Промышленная безопасность. 2022. №10. С.46-47.
- [8] Хемометрика / М.А. Шараф, Д.Л. Иллман, Б.Р. Ковальски ; пер. с англ. А.Н. Мариничева, А.К. Чарыкова; под ред. И.А. Ибрагимова, А.К. Чарыкова. - Ленинград: Химия, Ленинградское отд-ние, 1989. 269 с.
- [9] *Дребуцак Т.Н.* Введение в хемометрику. Практика анализа экспериментальных данных / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2011. 88 с.
- [10] SPESS F Document Preparation Profile (DPP) Version 4 dated 06 October 2022. DS537. Safety demonstration of innovative technology in power reactor designs // International Atomic Energy Agency. 2022. <https://www.iaea.org/sites/default/files/dpp537.pdf>.
- [11] Оценка безопасности установок и деятельности. Общие требования безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ. № GSR Часть 4 (Ред. 1) // Международное агентство по атомной энергии. Вена: МАГАТЭ, 2016.
- [12] Безопасность атомных электростанций: проектирование. Конкретные требования безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Ред. 1) // Международное агентство по атомной энергии. Вена: МАГАТЭ, 2016.

- [13] *Ковалев М.М.* Образование для цифровой экономики // Цифровая трансформация. 2018. №1 (2). С.37–42.
- [14] Защита от ионизирующих излучений: В 2 т. Т.1. Физические основы защиты от излучений / Н.Г. Гусев, В.А. Климанов, В.П. Машкович, А.П. Суворов; Под ред. Н.Г. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 1989, 512 с.

Сведения об авторе



Лобач Дмитрий Иосифович, 1971 г. рождения. Окончил Белорусский государственный университет (1993), к.т.н. (1998), гражданский государственный служащий в отставке, с 2004 по июль 2023 года – работа в Департаменте по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Национальном банке Республики Беларусь, принимал участие в рассмотрении технических проектов ядерных установок по вопросам их безопасности, функционирования систем безопасности, участвовал в оценке безопасности функционирования автоматизированной системы управления технологическим процессом атомных электростанций. В списке научных трудов около 80 работ. ORCID: 0000-0001-5512-0032; ResearcherID: HKN-7220-2023; SPIN 8838-3030. *lobachd@yandex.ru*.

Поступила в редакцию 13.11.2023, после рецензирования 23.11.2023. Принята к публикации 30.11.2023.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-615-624

On the development of approaches to system safety assessment in the design of technical systems

© 2023, D.J. Lobach

Department on nuclear and radiation safety of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract

The purpose of the study is to develop analytical approaches for the comparative assessment of technical systems in the implementation of expert activities. In the course of the research, priority directions for the selection of quantitative demonstration indicators of devices and technologies, and recommendations for choosing strategies for expert work when conducting assessments of technical systems security have been identified. A factual approach has been developed for relative (rating) comparison of designed, planned or applied technologies without the use of experimental data in the absence of operational experience. New opportunities for expanding expert assessments and analysis of equipment designs and technological solutions are shown. Their novelty lies in the application of the approaches of the safeometrics developing concept and consists in the use of plausible patterns for quantitative assessment of the parameters contained in the design and technical documentation and characterizing technical systems and complexes. Data for analysis can be prepared (collected) by experts or designers based on the requirements and recommendations of experts.

Keywords: *decision making, security, technical system, safeometrics, experience, expertise, project assessment.*

For citation: *Lobach DJ.* On the development of approaches to system safety assessment in the design of technical systems [In Russian]. *Ontology of designing.* 2023; 13(4): 615-624. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-4-615-624.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 - Examples of empirical partial invariant dependencies between some parameters of safeometrics (**AB** hyperbola; **AC**: $Q_{AC}=const$; **BC**: $N_{PC BC}=const$)

Figure 2 - Examples of dependences of safety level changes Q on the economic costs invested in safety E for different efficiency of the use of safety systems ε

References

- [1] **Lobach DJ.** On the development of expert possibilities for consideration of equipment projects and technological decisions [In Russian]. *System analysis and applied information science*. 2023; 2: 38-41. DOI: 10.21122/2309-4923-2023-2-38-41.
- [2] **Kuznetsova EA.** What is security science? [In Russian]. *Social and labor research*. 2019; 36(3): 76-85. DOI: 10.34022/2658-3712-2019-36-3-76-85.
- [3] To develop a system of additional measures to improve the supervision of the nuclear and radiation safety of the Belarusian NPP (annotated, stage 1.4): research report / GNTU «Center for Nuclear and Radiation Safety»; sup. O.N. Liubochko. – Minsk, 2022. – 186 p. – № SR 20213623.
- [4] **Berikov VS.** Modern trends in cluster analysis [In Russian] / V. S.Berikov, G. S.Lbov // All-Russian competitive selection of review and analytical articles on the priority direction "Information and telecommunication systems", 2008. – 26 p.
- [5] **Mandel ID.** Cluster analysis [In Russian]. I. D. Mandel. – M.: Finance and Statistics, 1988. – 176 p.
- [6] **Lobach DJ.** New problems, methodology and possibilities of Safeometrics [In Russian]. *Promyšlennaâ bezopasnost'*. 2023; 01: 34-36.
- [7] **Lobach DJ, Rakitskaya DV.** Safeometrics. About quantitative assessment of data for safety level determining [In Russian]. *Promyšlennaâ bezopasnost'*. 2022; 10: 46-47.
- [8] Chemometrics / Muhammad A. Sharaf, Deborah L. Illman, Bruce R. Kowalski. John Wiley & Sons, 1986. 352 p.
- [9] **Drebushchak TN.** Introduction to chemometrics. The practice of analyzing experimental data: A textbook [In Russian] / Novosibirsk State University. Novosibirsk, 2011. 88 p.
- [10] SPESS F Document Preparation Profile (DPP) Version 4 dated 06 October 2022. DS537. Safety demonstration of innovative technology in power reactor designs [Electronic resource]. International Atomic Energy Agency, 2022, Available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/dpp537.pdf>.
- [11] Safety assessment for facilities and activities. General safety requirements [In Russian]. International Atomic Energy Agency. IAEA safety standards series, no. GSR Part 4 (Rev. 1), 2016, IAEA, Vienna.
- [12] Safety of nuclear power plants : design. Specific safety requirements [In Russian]. International Atomic Energy Agency. IAEA safety standards series, no. SSR-2/1 (Rev. 1), 2016, IAEA, Vienna.
- [13] **Kovalev MM.** Education for the Digital Economy [In Russian]. *Digital transformation*. 2018; 1(2): 37–42.
- [14] *Zaschita ot ionizirujuschih izluchenij: V 2 t. T.1. Phizicheskiye osnovy zaschity ot izluchenij. Protection from ionizing radiation: In 2 v. V.1. Physical foundations of radiation protection [In Russian].* N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov; Edited by N.G. Gusev. 3rd ed. Moscow: Energoatomizdat, 1989, 512 p.

About the author

Dmitry J. Lobach (b. 1971) graduated from the Belarusian State University (Minsk, USSR-Belarus) in 1993, Candidate of Sciences (Technical Sciences (1998)). He is a retired civil servant, since 2004 upon 2023 – working in the Department on Nuclear and Radiation Safety of the Ministry on Emergency Situations of the Republic of Belarus, the National Bank of the Republic of Belarus. He participated in the reviews of technical projects of nuclear installations on their safety, the functioning of safety systems, as well as, participated in the safety assessment of the functioning of the automated process control system of nuclear power plants. He is a co-author of about 80 scientific articles and abstracts in the field of nuclear and radiation safety and security, expertise, nuclear law and regulation. Author ORCID: 0000-0001-5512-0032; ResearcherID: HKN-7220-2023; SPIN 8838-3030. lobachd@yandex.ru.

Received November 13, 2023. Revised November 23, 2023. Accepted November 30, 2023.
