

ЛОБАЧ Д.И.

## О РАЗВИТИИ ЭКСПЕРТНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ ПРОЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

*Департамент по ядерной и радиационной безопасности  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь*

*Цель исследований, описанных в статье, сформулировать и обосновать методологию анализа количественных закономерностей параметров проектов, устройств, систем и технологий, которые могут быть использованы для относительного или рейтингового сравнения проектируемых, планируемых или применяемых объектов изучения без использования длительной наработки экспериментальных или эксплуатационных данных.*

*Предложенный подход анализа 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 экспериментальных и коммерческих технических проектов.*

**Ключевые слова:** *экспертиза, экспертная оценка, безопасность, эксплуатационный опыт, эксплуатационные параметры, эйфеометрика, трансдисциплинарность, прогноз, демонстрационные показатели, сравнение проектов*

### Введение

В ходе использования устройств, систем и технологий в промышленности, атомной энергетике, в целом – в технике, нарабатываются экспериментальные и эксплуатационные данные для оценки их надёжности, рисков проектных и запроектных аварий оборудования для достоверной оценки безопасности инновационных технологий в конструкциях. Это требует к периоду пуска-наладки дополнительного времени и уменьшает ожидаемый экономический эффект от реализации проектов.

В работе [1] для развития вычислительного аппарата науки о безопасности была предложена вспомогательная концепция, основанная на аналогии с подходами хеометрики, для количественной оценки величин в сфере определения уровня безопасности оборудования – эйфеометрика. При формировании основных её элементов были описаны проблематика, методология и возможности рассматриваемых задач [2]. Следует полагать, что эйфеометрика является примером трансдисциплинарности.

Необходимость подтверждения или демонстрации безопасности инновационных технологий является актуальной международной проблемой [3].

### Основные проблемы проведения экспертных оценок

Экспертному сообществу важно определить наличие у проекта более передовых характеристик в сравнении с ранее реализованными аналогами или продукцией конкурентов. Планируемые сроки реализации проектов и введения в эксплуатацию

объектов влияют на ожидаемый кумулятивный экономический эффект для отрасли, региона или страны.

Одной из возможностей, которую даёт эйфеометрика, является поддержка разработчиков, операторов и других сторон при сравнении количественных параметров проектов. Сравнения проектов могут быть использованы регулирующими органами при принятии необходимых решений для обеспечения безопасного строительства и эксплуатации конструкций с использованием инновационных технологий.

Для количественной оценки уровня или индекса безопасности технологий можно использовать подходящие закономерности из вычислительного аппарата, формирующего круг задач эйфеометрики [2]. В качестве показателей техно-логий можно использовать параметры или возможные их комбинации, которыми обладает технология или которые могут описать свойства этих технологий.

### Методология

Изменения технических проектов могут проводиться в разрезе наращивания их потенциала, совершенствований в области обеспечения безопасности, технологического оснащения, оборудования систем управления, систем «человек-человек» и «человек-машина».

При сравнении количественных параметров можно определять потенциал, уровень превосходства или преимущества одних проектов перед другими. Наличие такого подхода может дать дополнительную информацию для их анализа и оценки. Эксперт мог

бы проводить сравнение проектов с неизвестными или планируемыми эксплуатационными возможностями и проектов с имеющимися и изученными эксплуатационным опытом и эксплуатационными параметрами, при отсутствии которых требуется опираться на объективные количественные параметры его проектов или их комбинации (суперпозиции или удельные величины).

В качестве количественных демонстрационных показателей технологий предлагается выделять в проект следующие группы характеристик:

- количество технологических единиц и их физические параметры, включая количественные отличительные признаки (например, технические, оценка влияния на уровень безопасности);

- параметры систем «человек-машина» и «человек-человек»;

- характеристики, важные при возведении или изготовлении, в разрезе требуемого количества и состава технологических операций, участия в них людей, необходимости контроля операций и оборудования;

- уровень и состояние технологического обеспечения и оборудования;

- характеристики, важные при эксплуатации, для обеспечения безопасности, проведения противоаварийных мероприятий и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Ряд параметров представляют собой характеристики проекта, технологии, например, количество рабочих систем или элементов, количество систем безопасности (далее – СБ) или элементов, геометрические размеры осматриваемых при эксплуатации или надзоре участков оборудования, время, затрачиваемое на это и т. п. Для оценок могут использоваться соотношения между конкретными характеристиками проекта. Целесообразно исследовать и описать введение параметров, которые могут давать комплексную экспертную оценку систем или технологий, например, степень опасности (технологической, производственной), уровень оснащённости (технической) системами безопасности, степень автономности, характеристики автоматизации процессов, участия в них людей, степень изолированности (от доступа людей, от окружающей среды и т. п.), дополнительно к показателям, указанным ранее групп характеристик.

Уровень технической оснащённости СБ ( $\tau$ ) предлагается использовать, чтобы охарактеризовать способность выхода оборудования в безопасное состояние. Такой параметр описывает свойство самозащитённости, безопасоустойчивость устройства. Под этой величиной будем полагать отношение количества СБ ( $N_{CB}$ ) к количеству рабочих систем ( $N_{PC}$ ) в конструкции:  $\tau = N_{CB}/N_{PC}$ . При  $\tau = 1$  на одну рабочую систему приходится одна СБ, что с точки зрения обеспечения безопасности является

идеальным случаем для перевода устройства в безопасное состояние. Если в проекте  $\tau < 1$ , то в системе присутствует недостаток безопасности, который может быть обнаружен при оценке безопасности и в отдельных случаях требуется разработать план компенсирующих мер. Когда  $\tau > 1$ , то присутствует запас безопасности, а СБ в этом случае на практике могут быть задублированы.

Степень опасности ( $\alpha$ ) предлагается рассматривать, в зависимости от того, сколько систем или элементов безопасности требуется задействовать для нейтрализации одного фактора опасности, например, в контексте количества в проектных авариях событий и отказов. Применение СБ можно считать более эффективным и действенным, если  $\alpha \leq 1$ , т. е. одна СБ нейтрализует не менее одной степени опасности.

Уровень безопасности  $Q$  в системе будет уменьшаться, если увеличивается степень опасности  $\alpha$ . Это можно выразить следующей эмпирической закономерностью:  $\alpha \times Q = \text{const}$ . Однако для систем с разным уровнем технической оснащённости СБ, например,  $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ , изменение уровня безопасности  $Q$  при изменении степени опасности  $\alpha$  будет происходить по-разному (рис. 1). При  $\tau_1$  система будет быстрее реагировать на изменение  $\alpha$  по причине меньшего количества СБ и наличия дефицита безопасности, чем при  $\tau_3$ , где есть запас безопасности (AB: при неизменности степени опасности включение дополнительных СБ повышает уровень безопасности; BC и AD: при увеличении степени опасности уровень безопасности уменьшается, но конечное значение  $Q_3 > Q_1$ , поскольку в устройстве с  $\tau_3$  имеется запас безопасности; CD: при отключении СБ, уровень безопасности понижается). Однако такое рассмотрение не учитывает инертность работы систем, существующие переходные процессы в рабочих системах при включении или выключении СБ.

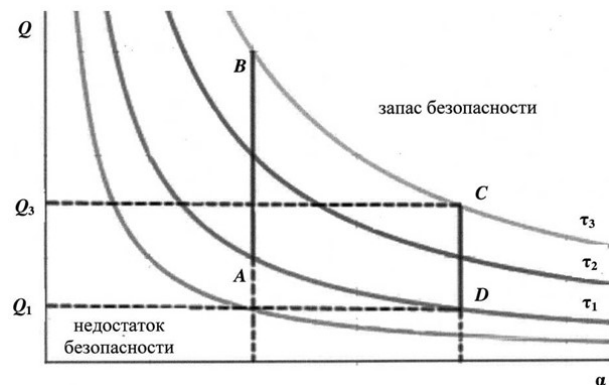


Рисунок 1. Уровень безопасности в системах с запасом и недостатком безопасности

Введём показатель работы конструкции без участия в ней человека (оператора). Степень автономности ( $\beta$ ) – относительная величина,  $\beta = t_a / t_\phi$ , характеризует интервал времени  $[0; t_a]$

функционирования без участия человека (отсутствует человеческий фактор), без постороннего вмешательства в период времени функционирования конструкции  $t_{\phi}$ , например, без наличия ручных систем управления. Увеличение степени автономности приводит к уменьшению влияния человеческого фактора и увеличению уровня безопасности, поэтому решением уравнения  $dQ = \tau \times \beta \times d\beta$  будет функция типа  $Q = \tau \times \beta^2 / 2 + b$ , где  $b$  – коэффициент (рис. 2; **AB**: для постоянной степени автономности при включении дополнительных СБ уровень безопасности повышается; **CB**: при уменьшении степени автономности для сохранения уровня безопасности надо включать дополнительные СБ). С точки зрения отсутствия человеческого фактора, преимуществом будут обладать проекты с высокой степенью автоматизации, вплоть до полной, например, наличия автопилота.

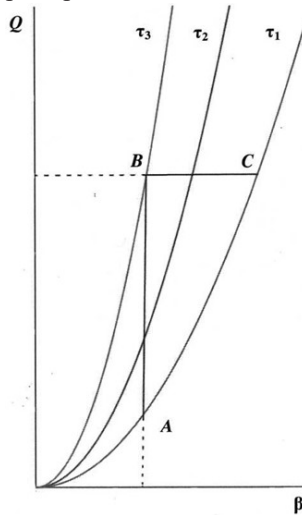


Рисунок 2. Влияние степени автономности на уровень безопасности системы

В настоящее время многопараметрические зависимости с использованием аппарата теории вероятностей изучаются в рамках научной работы применительно к реализации адаптивных, дифференцированных технологий регулирования ядерной и радиационной безопасности [4, 5].

При проведении оценок исходное аналитическое рассмотрение удобно начинать с максимального упрощения ситуации, уменьшения количества потенциальных и фактических связей и зависимостей между параметрами. На основании закономерностей теории вероятностей однопараметрические зависимости в ходе исследований можно использовать при формировании более сложных типов связей для независимых параметров, произведением однопараметрических функций (стационарный случай):

$$q(N, \tau, \alpha, \beta \dots) = \prod_{(i=1)}^Z Q_i,$$

где  $q(N, \tau, \alpha, \beta \dots)$  – многопараметрическая зависимость от количества  $Z$  независимых

параметров,  $N$  – количество используемых СБ,  $Q_i$  – однопараметрическая зависимость.

### Философский парадокс выключателя

В работе [2] при рассмотрении концепции достижения обоснованного уровня приемлемой безопасности была поставлена задача по определению зависимости уровня безопасности от количества используемых СБ  $Q(N)$ . В ходе её решения была получена функция типа  $Q(N) = a + \alpha \times \ln N$ , где  $a$  – коэффициент.

Анализ этой функции подтверждает предположение о принципиальном наличии в оборудовании и системах первичной и основной СБ, при работе которой достигается состояние нейтральной безопасности устройства, когда реализуется его блокировка, выключение или инициируется процесс остановки ( $a = 0$ ,  $N = 1 \rightarrow Q = 0$ ). Для сложных устройств наличие такого простого элемента не очевидно. Тем не менее, «неисправность такого, конструктивно незначительного элемента, может быть причиной серии отказов в оборудовании и системах, вызывать нестандартные ситуации в управлении» (цитирование стр. 35 [2]). Можно предположить, что рассмотренная ситуация является примером бритвы Оккама в технике.

На практике, при реализации проекта, можно обнаружить множество ключевых элементов управления, от работоспособности которых будет зависеть состояние оборудования и систем. Отсутствие сигналов, данных от таких элементов в системах связи и производственной информации или их неисправность будут определять несвоевременность принятия управленческих решений для технических комплексов. Самым ключевым следует считать тот элемент, от которого будет зависеть принятие оператором или руководителем наиболее важного управленческого решения.

В ходе проведения надзорных работ, экспертизы проектов поиску таких ключевых элементов – «слабых звеньев» – обычно не уделяется отдельного внимания и анализа, существующие подходы не предусматривают этого. Однако, в ходе эксплуатации именно здесь концентрируется большинство причин для проявления человеческого фактора. Поэтому тут важно делать акцент в ходе контрольной и эксплуатационной работы, уделять внимание таким ключевым техническим элементам и простым устройствам безопасности, что позволит повысить эффективность работы персонала при обслуживании и усилить действенность надзорных мероприятий. В целях предотвращения случайных отказов при проектировании и реализации проектов управление и контроль обнаруженных «слабых звеньев» следует задублировать.

### Заклучение

Разработке дополнительных подходов для экспертных оценок требуется уделять внимание из-за от-

сутствия достаточного эксплуатационного опыта, использования новых методов сбора и обработки информации, меняющейся квалификации специалистов, тенденций недостатка и утечки знаний и компетенций.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лобач, Д.И. Сэйфеометрика. О количественной оценке величин при определении уровня безопасности / Д.И. Лобач, Д.В. Ракицкая // Промышленная безопасность. – 2022. – № 10. – С. 46-47. ISSN 2958-4523.
2. Лобач, Д.И. Новые проблемы, методология и возможности сэйфеометрики / Д. И. Лобач // Промышленная безопасность. – 2023. – № 01. – С. 34-36. ISSN 2958-4523.
3. DS537. Safety demonstration of innovative technology in power reactor designs [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency/ – 2022/ – Режим доступа: <https://www.iaea.org/sites/default/files/dpp537.pdf>. – Дата доступа: 03.01.2023.
4. Разработать систему дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС (аннотированный, этап 1.4): отчет о НИР / ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»; рук. О.Н. Любочко. – Минск, 2022. – 186 с. – № ГР 20213623.
5. Lobach, D. Adaptability of technologies for regulation and analysis of nuclear and radiation safety in Belarus / Dmitry J. Lobach, Olga Lugovskaya, Diana Rakitskaya, Polina Lesyak // the International Conference on Effective Nuclear and Radiation Regulatory Systems, 13–16 February 2023, International Atomic Energy Agency, Abu Dhabi, UAE.

### REFERENCES

1. Lobach, D.J., Rakitskaya D.V. Safeometrics. About quantitative assessment of data for safety level determining. *Promyŝlennâá bezopasnost'*, 2022, № 10, pp. 46-47. ISSN 2958-4523.
2. Lobach, D.J. New problems, methodology and possibilities of Safeometrics. *Promyŝlennâá bezopasnost'*, 2023, № 01, pp. 34-36. ISSN 2958-4523.
3. DS537. Safety demonstration of innovative technology in power reactor designs [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency/ – 2022/ – Mode access: <https://www.iaea.org/sites/default/files/dpp537.pdf>. – Date access: 03.01.2023.
4. 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.
5. Lobach, D., Lugovskaya O., Rakitskaya D., Lesyak P. Adaptability of technologies for regulation and analysis of nuclear and radiation safety in Belarus. The International Conference on Effective Nuclear and Radiation Regulatory Systems, 13–16 February 2023, International Atomic Energy Agency, Abu Dhabi, UAE.

LOBACH D.J.

## ABOUT DEVELOPMENT OF EXPERT POSSIBILITIES FOR CONSIDERATION OF EQUIPMENT PROJECTS AND TECHNOLOGICAL DECISIONS

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

*The purpose of the research described in the article is to formulate and substantiate the methodology for analyzing quantitative patterns of parameters of projects, devices, systems and technologies, that can be used for relative or rating comparison of projected, planned or applied investigated objects without using long-term experimental or operational data.*

*The proposed approach to the analysis of quantitative patterns makes it possible to conduct a primary assessment of the advantages of innovative technologies, a comparative assessment of the safety of technical complexes, a targeted pre-operational assessment of equipment parameters, and to form planned distinctive parameters for the implementation of experimental and commercial technical projects.*

**Keywords:** *expertize, expert assessment, safety, operational experience, operational indices, safeometrics, transdisciplinarity, prognosis, demonstration indices, project comparison*



Лобач Дмитрий Иосифович – к.т.н., главный специалист отдела науки и информации, Департамент по ядерной и радиационной безопасности, Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Dmitry J. Lobach – Candidate of Sciences (Technical Sciences), Principal specialist at the Division on Science and Information, Department on Nuclear and Radiation Safety, Ministry on Emergency Situation of the Republic of Belarus.

E-mail: [lobachd@yandex.ru](mailto:lobachd@yandex.ru), [lobach@gosatomnadzor.gov.by](mailto:lobach@gosatomnadzor.gov.by)

ORCID: 0000-0001-5512-0032; ResearcherID: HKN-7220-2023