Научная статья

УДК 338.3:621.391:[004.5+004.67]
DOI 10.25205/1818-7900-2024-22-1-31-48

О применении кластерного анализа для развития методов оценки безопасности технических систем

Дмитрий Иосифович Лобач

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

lobachd@yandex.ru

Аннотация

Задача исследования заключается в разработке и развитии вспомогательных аналитических подходов для осуществления экспертной деятельности. Проблема эффективной поддержки экспертной оценки безопасности актуальна на всех стадиях жизненного цикла производственного оборудования организации. Традиционные методы оценки могут сталкиваться с недостатком данных. В ходе исследований выработаны новые методы, которые, с одной стороны, должны быть удобны для цифровизации и автоматизации алгоритмов оценки, с другой – генерировать в ходе обработки данных новую информацию (проводить DATA MINING) для экспертов. В работе описаны новые возможности применения кластерного анализа, методов анализа кластеров для сферы оценки безопасности, культуры безопасности. Предложены подходы формирования кластеров данных для методов оценки безопасности производств и техники, а также сделан акцент на анализе этих кластеров с использованием теории графов. Отмечены особенности применения кластерного анализа для оценки безопасности. Даны рекомендации для развития дополнительных методов оценки безопасности с возможностью их последующей автоматизации (вычислительными средствами) в контексте цифровой трансформации экспертиз и поддержки систем управления технологических процессов.

Ключевые слова

оценка безопасности, сэйфеометрика, получение новой информации, кластерный анализ, теория графов, значимость, целевые оценки, рейтинг, культура безопасности, организационная деятельность, планирование

Для цитирования

Лобач Д. И. О применении кластерного анализа для развития методов оценки безопасности технических систем // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2024. Т. 22, № 1. С. 31–48. DOI 10.25205/1818-7900-2024-22-1-31-48

© Лобач Д. И., 2024

On the Application of Cluster Analysis for the Development of Safety Assessment Methods for Technical Systems

Dmitry J. Lobach

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

lobachd@yandex.ru

Abstract

The objective of the study is to elaborate and develop auxiliary analytical approaches for the implementation of expert activities. The problem of effective support of expert safety assessment is relevant at all stages of the life cycle of the organization's production equipment. Traditional assessment methods may face a lack of data. In the course of research, new methods have been developed that should be both convenient for digitalization and automation of evaluation algorithms, and generate new information (conduct DATA MINING) for experts during data processing. The paper offers new possibilities for the use of cluster analysis, cluster analysis methods for the field of safety assessment, safety culture. As a result of the research, approaches to the formation of data clusters for methods of assessing the safety of production and equipment are proposed, and emphasis is placed on the analysis of these clusters using graph theory. The article highlights the features of the use of cluster analysis for security assessment. Recommendations are given for the development of additional methods of safety assessment with the possibility of their subsequent automation (by computers) in the context of digital transformation of expertise and support of control systems of technological processes.

Keywords

safety assessment, safeometrics, data mining, cluster analysis, graph theory, significance, target assessments, rating, safety culture, organizational activity, planning

For citation

Lobach D. J. On the application of cluster analysis for the development of safety assessment methods for technical systems. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2024, vol. 22, no. 1, pp. 31–48 (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2024-22-1-31-48

Введение

Проектирование, строительство, изготовление, эксплуатация производственных объектов и установок сопровождаются проведением ряда плановых и внеочередных оценок безопасности в интересах разных заинтересованных сторон. Результат проведения таких экспертных задач зависит от квалификации экспертов, методов сбора и обработки данных. Для формулирования и решения задач с дифференцированным подходом с количественной оценкой уровня или индекса безопасности и формирования вычислительного аппарата сэйфеометрики можно использовать методы обработки количественных закономерностей и числовых массивов в сочетании с кластерным анализом [1; 2].

Существующие подходы оценки безопасности – детерминистические и вероятностные – различаются по своим целям и группам анализируемых параметров. Их использование основано на обработке экспериментальных и эксплуатационных данных практического применения объектов и установок.

Современный анализ протекания комплексных технологических процессов невозможно представить без применения методов математической обработки и визуального отображения информации. Зачастую использование традиционных подходов не дает прорывных результатов при анализе и требуется развивать методологическую основу экспертной деятельности, во многих случаях установившегося в настоящее время порядка математической обработки данных не имеется. Результаты наблюдений и систематической надзорной работы представляют собой представительные массивы численной информации. Надлежащая их обработка должна привести к должному теоретическому осмыслению и установлению закономерностей,

позволяющих прогнозировать аспекты безопасности. В кластерном анализе для обработки информации получило распространение применение закономерностей из теории графов.

В работах [1; 3] сформулированы пояснения о развитии дополнительных методов оценки уровня безопасности, в том числе с использованием концепции сэйфеометрики.

Для построения теории и описания области технического познания и оценки вычисления непосредственно ненаблюдаемых величин на основании обработки априорной информации и эмпирических данных, используя подходы сэйфеометрики, необходимо ориентироваться на подходящие математические методы и функциональные зависимости, как об этом говорилось в [2]. Основное свойство модели должно заключаться в ее способности прогнозировать уровень безопасности или его изменение.

Применение дополнительных методов хотя и увеличивает затрачиваемое на экспертные оценки время, но дает дополнительные сведения для оценки данных в ходе проведения DATA MINING (получения новой информации в ходе обработки данных). В связи с этим важно также иметь возможность цифровизации аналитического аппарата подходящих и удобных для использования методов. Это также повышает наглядность восприятия результата, что и предлагается в настоящей работе в разрезе применения теории графов для развития методов оценки безопасности. При наличии у специалистов клипового мышления [4] дополнительные методы могут задублировать рассмотрение, что позволит получить более достоверный результат.

Методология анализа данных

Исследователь (эксперт) должен определить цель и задачи анализа и оценки. Исходя из этого он формирует совокупность входных данных, осуществляет начальный рейтинг параметров. Ход анализа будет определяться его целью. Полнота и круг рассматриваемых вопросов анализа определяются его задачами.

В ходе деятельности по регулированию вопросов безопасности необходимо определить приоритет и частоту надзорных мероприятий, сделать акцент на внимание к отдельным системам и оборудованию из их совокупности, определить критическое состояние оборудования или систем, а также иметь возможность определять предвестники инцидентов и аварий.

При проведении исследования необходимо учитывать существенные факторы, влияющие на состояние безопасности, и отсеять (отделить) факторы, которые не оказывают влияние на состояние или не имеющие значения на определение причинно-следственной связи для оценки уровня безопасности. Исключение ничтожных факторов производят на первичной основе. Указанное отсеивание обычно проводится на основе ранжирования в порядке убывания или возрастания установленного признака. Ранжирование факторов представляет собой их расположение в последовательности, например, в порядке убывания их влияния на значимые события в системе. Для ранжирования можно использовать подходящие математические закономерности, например, теорию графов [5].

Нормативные и эксплуатационные документы позволяют составить и получить перечни установленных и эксплуатационных показателей – индикаторов безопасности (физические величины, вероятности, риски), а также иных характеристик производственного процесса. Эти индикаторы составляют массивы данных для анализа и оценки безопасности $A_{i=1...z}$, каждый из которых группируется из отдельных тематических элементов. Компоненты разных массивов будут иметь связь между собой в зависимости от цели анализа. Они являются исходными параметрами для дифференцированного анализа безопасности оборудования и устройств, в отношении которых проводится рассмотрение. Каждый массив A_i представляет собой последовательность однородных характеристик с акцентом принадлежности к группам систем и оборудования, классам безопасности, группам систем оборудования, последствиям изменений уровня безопасности, содержанию и серьезности нарушений и т. д. В рассматриваемых

массивах нумерация параметров должна соответствовать их рейтингу (важности) по влиянию на безопасность или тяжесть последствий: в начале массивов располагаются наиболее значимые параметры, в конце – менее значимые. Соседние элементы массивов могут быть связаны между собой только по рейтингу. Однако такие элементы могут иметь между собой связь через один или несколько элементов иных массивов (одного или нескольких), формировать совокупность их причин или признаков, отдельную логическою последовательность данных, формировать первичные кластеры для анализа.

В экспертной деятельности применяются чередование обработки и анализа полученных сведений, конечной целью которых является оценка изменения уровня безопасности как функции $q(X)$ от одного (X) или нескольких $(X_1, ..., X_Y)$ проектных или эксплуатационных параметров. Такие функции могут быть стационарными или нестационарными. Применение разнообразия в методах оценки безопасности придает результату весомость и значимость для последующего принятия управляющих решений.

Полученная функциональная зависимость величин фактически является математической моделью, которую удобно использовать с целью получения сведений об объекте анализа и способной реализовываться для решения программно-алгоритмическими средствами. К моделям предъявляются требования в способности прогнозировать значение результата с установленной точностью. Однако для косвенно определяемых величин точность может быть оценена только в ходе практической проверки на основании фактически наблюдаемых величин. По результатам такой проверки можно судить о том, является ли модель адекватной, т. е. удовлетворяющей первоначальной гипотезе эксперта.

Первым этапом анализа данных является применение кластерного анализа с целью выявления приоритетных областей внимания, исходя из целей анализа, например, анализ изменения параметров для групп определенного оборудования, поиск факторов риска для аварийных ситуаций, формирование недостаточно обследованных областей производств и т. п. Применение кластерного анализа является поисковым подходом системы DATA MINING, который позволяет структурировать массивы эмпирических данных, сформировать однородные, удобные для исследования группы или кластеры. Фактически в ходе применения кластерного анализа совместно с ранжированием решается задача классификации, стратификации данных и выявления однородных мажоритарных и доминантных структур параметров.

Для проведения кластеризации фактов при современном уровне развития науки и техники можно использовать как автоматические (программируемые модели), так и неавтоматические (визуальные, непрограммируемые модели) подходы [6].

Степень влияния как воздействия установленного кластера, так и группы факторов на уровень безопасности может изменяться во времени. Однако если это не имеет явной технической причины, например, из-за метеорологического влияния на оборудование и системы, то можно предположить, что причину следует искать в формировании совокупности индивидуальных, групповых или организационных элементов человеческого фактора. Применение кластерного анализа позволяет использовать интеллектуальную группировку факторов для определения оптимального или менее затратного способа планирования работ, определив заведомо релевантное подмножество факторов риска.

Кластерный анализ при оценке безопасности может обнаруживать устойчивые или спорадические связи влияний. Однако во всех случаях это будут достоверные эмпирические результаты. В разрезе поиска «слабых» звеньев проекта следует уделять внимание случаям устойчивого формирования кластеров влияния на уровень безопасности, устойчивую типологию. Такие закономерности необходимо учитывать для приоритетного внимания при проверках состояния безопасности или проведении экспертных рассмотрений, определения численности вовлеченных в эту работу сотрудников.

На втором этапе анализа требуется проранжировать сами сформированные кластеры. Ранжирование кластеров даст возможность определить окончательную приоритетность к группам внимания.

В настоящее время уже существуют разные методы, которые имеют возможность цифровой обработки и представления данных – индикаторы безопасности атомных станций [7], 9 индикаторов в Канаде и 7 направлений в США [8], 5 классов опасности в России [9].

В ходе проведения кластерного анализа проводится обработка многомерных массивов статистических данных различной размерности [10–13]. В результате выделяются группы объектов, однородных по рассматриваемым признакам, непересекающиеся подмножества, проводится выявление «сгущения» объектов внимания. К каждой отдельной группе признаков (кластеру) можно применять дифференцированные управленческие решения. При применении ранжирования к факторам процедуры их различная размерность и многомерность массивов не являются помехами для проведения экспертного анализа. Аналитик сам может формировать интересуемые группы факторов и кластеры. Несмотря на имеющиеся размерности у величин, кластерный анализ позволяет делать этот процесс наглядным. На основании типологии влияющих на безопасность факторов аналитик может исследовать полезные для своей работы схемы группирования объектов, наглядно представить и проверить свои гипотезы. Достоинствами кластерного анализа являются типология данных, сжатие объемов информации для анализа, DATA MINING для обнаружения новых данных, скрытой информации, обнаружения структуры в изучаемой совокупности объектов, построение новых классификаций для слабоизученных явлений.

В ходе кластерного анализа обычно выделяют следующие основные проблемы: различная размерность используемых для анализа показателей и многомерность исследуемых объектов.

Наиболее распространенным методом исследования кластера является вычисление на основании изменений величин однородных факторов выборочной дисперсии или выборочного корреляционного момента, либо входящих в состав кластера так называемых метрик или расстояний, например, евклидова метрика, хеммингово расстояние. Однако для ранжирования самих кластеров необходимо использовать характеристики не факторов, а именно кластеров, которые могут быть рассмотрены в виде графов.

Для решения и формирования задач с дифференцированным подходом и количественной оценкой уровня или индекса безопасности и формирования вычислительного аппарата сэйфеометрики можно использовать количественные закономерности обработки массивов данных кластеров из теории графов [1].

Применение анализа кластеров с использованием теории графов для оценки безопасности технических систем

Для применения теории графов исследователь должен построить граф G с вершинами на основании интересуемых его структурных элементов массивов $A_{i\,=\,1...z}$, элементы внутри которых должны быть выстроены в порядке убывания рейтинга (значимости), от более высокого уровня к менее значимому элементу. Исходя из сформулированных задач, графов может быть несколько.

Суть методов заключается в определении изменений одного или нескольких параметров графа (количество вершин (V) и связей (ребер) (E), валентность (степень) вершин ($deg(v)$) и т. д.). С учетом изменения параметров графа анализируется наличие экстремумов, определяются критические системы, их сложность и состояние, делается вывод о приоритетных эксплуатационных или регулирующих действиях. Для количественного анализа сравниваются как значения показателей безопасности, так и параметры графов.

Порядок графа $|G|$, т. е. количество его вершин, будет определять сложность и комплексность рассматриваемой системы. Чем сложнее система, тем бóльшее время необходимо затратить на ее осмотр, изучение ее свойств, например, безопасности. Предположим, что периодичность (период) этих действий $T\frac{1}{|G|}$. Количество связей в графе $\|G\|$ отражает картину сложности системного взаимодействия, для контроля которого требуется больше внимания, действий, частый осмотр и поэтому также периодичность $T \sim \frac{1}{\|G\|}$.

Очевидно, что более значимые системы требуют бóльшего внимания (меньшая периодичность осмотра, более частые действия). Их важность или значимость $S\frac{1}{T}$. Поскольку сумма степеней вершин (валентность вершин) графа равна удвоенному числу его ребер $\sum_{v \in V} deg(v) = 2|E|$, то $S \sim 2|E|$.

Аналитическое описание методов для проведения целевых оценок

Цель применения кластеризации при анализе безопасности – провести группирование внимания, определить для анализа сосредоточение признаков (характеристик, изменений контролируемых величин и др.) в кластере или кластерах либо отсутствие такого сосредоточения.

Построение кластера. Эксперт определяет исходный массив данных для построения кластера, ту тему, которой он хочет уделить свое основное внимание. Массивы данных описывают разные аспекты структуры и свойств технических систем (ТС) и управления, например, перечни ТС, эксплуатационные данные, характеристики системы управление ТС, вовлеченного в управление персонала. Элементами массивов могут быть параметры ТС, их изменение, количественные и качественные характеристики управления, его персонала, количество вовлеченных в деятельность с ТС специалистов. Для упрощенного построения кластера важно само наличие характеристик ТС, а для более детального – изменение параметров и наличие связей между параметрами и изменениями. Последовательно из каждого массива A_{i+1} выбирается один элемент, который изменился или вообще используется для непосредственной характеристики элемента предыдущего массива A_i или элемента основного критерия оценки из A_0 (если он принят в подходе или взят экспертом для анализа). В неавтоматизированном режиме эксперт сам определяет степень важности установления связи (ранга или рейтинг). Для всех элементов одинаковой важности тоже могут быть установлены связи в кластере при фактическом наличии таковых.

Визуально построение кластера из элементов A_i для его последующего анализа аналогично наглядности структуры построения связей в корреляционных метриках или расстояниях. Однако различия заключаются в конкретном замысле эксперта и смысле результата его анализа для целей оценки безопасности ТС. Схемы построения кластеров в целях применения методов для целевых оценок приведены далее в статье на основе примеров в разрезе описания алгоритма оценки безопасности ТС для системы поддержки принятия решений (СППР).

Рейтинг первого уровня (рейтинг признаков). Цель – определить приоритет среди разных аналитических задач или экспертных точек зрения на состояние оборудования и систем по отсутствию достаточного количества данных или доступному количеству изменения признаков или параметров.

Для каждого кластера экспертной проблематики конструируются графы $G_{i=1...N}$ и каждому из них определяется условное значение значимости S_{G_j}. Набору графов будет соответствовать набор из величин значимостей, в котором можно определить максимальное и минимальное

значение, которое укажет на область недостаточного тактического внимания в управлении безопасностью.

Ряд из значимостей выстраивается в порядке их убывания (или возрастания, в зависимости от замысла эксперта). Определяются графы с наибольшей значимостью. Графы с наименьшей значимостью анализируются на достаточность количества данных. При минимальной значимости и недостаточном количестве данных следует считать область анализа малоизученной и требующей дополнительного внимания (так называемая GAP-область анализа).

Отличие применения анализа рейтинга первого уровня от применения корреляционной метрики или расстояния состоит в другом аналитическом подходе. В рейтинге признаков делается попытка оценки непосредственно важности или значимости, а также требуемой периодичности осмотра. При анализе корреляционных метрик или расстояний (при изучении изменений характеристик) существует проблема понимания смысла и размерности вычисленной величины, которая для удобности анализа рассматривается как относительная (в относительных единицах).

Рейтинг второго уровня (рейтинг задач). Цель – определить, какие задачи анализа безопасности являются наиболее приоритетными при рассмотрении.

Проводится оценка адекватности постановки задач нескольких типов, для которых была проведена процедура рейтинга первого уровня. Формулируется несколько видов задач на основании элементов массивов $A_{i=1...z}$. Для каждого A_i однотипной задачи из рассматриваемых массивов конструируется одинаковое количество графов $G_{j=1...N}$, на основе элементов A_{ij}, для каждого графа определяется значимость S_{G_j}.

Рейтинг задачи определяется суммированием значимостей графов задачи $S_i^{II} = \sum_j S_{G_j}$. Строится упорядоченный ряд значимостей задач в порядке убывания. Определяются наиболее важные задачи.

Чем больше элементов с высоким рейтингом, тем больше значимость задачи, необходимо анализировать такое «сгущение» признаков или событий.

Рейтинг третьего уровня (рейтинг внимания). Цель – оценить организационную работу и планирование деятельности в зависимости от того, где уделяется больше или меньше внимания – конкурирующим по вопросам безопасности ТС или оборудованию, а также, где имеется или установлено больше или меньше признаков для контроля оборудования (стратификация признаков).

Выполняется подбор нескольких видов задач, как для рейтинга задач, но количество графов для каждой задачи может быть произвольным (k_i). В целом, где меньше признаков в массиве, там требуется бóльшая концентрация внимания, так как имеется менее выделенная их стратификация.

Проводится рассмотрение удельной величины для концентрирования стратегического внимания на задачах в области безопасности, а также в соответствии с признаками массивов $A_{i=1...z}$ после проведения анализа задач $S_i^{III} = \frac{S_i^{II}}{k_i}$, где k_i – количество рассматриваемых случаев задач одного типа $i\left(k_{i\,MAX} = j_{MAX} = N\right)$. Определяются величины S_i^{III}, которые выстраиваются в порядке убывания.

Максимальное значение значимости показывает, что там уделяется бóльшее внимание или только там проводится рассмотрение из перечня признаков для выбора. Предположительно недостатки организационной работы будут незначительными, если нет явно выраженных максимальных или минимальных величин S_i^{III} (когда различия не превышают значений ± 10 % или иное значение, по мнению эксперта). В случаях минимального значения S_i^{III} очевидно имеется существенный недостаток внимания в работе.

Возможный случай построения экспертом своей работы. Методы могут использоваться как по отдельности, так и совместно, в комбинации. Каждому перебору параметров для анализа строится граф G с величиной значимости S. При построении последовательности величин значимостей по максимальному и минимальному значению можно проанализировать сильные и слабые стороны системы организации деятельности по обеспечению безопасности. Наличие нескольких графов с экстремальными величинами значимости может указать на недостатки в системном планировании работ.

Экстремумы для графов определяются с целью понимания анализируемых данных как максимумов (зон повышенного внимания или реальной ситуации), так и минимумов (зон отсутствия внимания, «разрывов» в системной деятельности) для дальнейшего их анализа. Важно учесть возможность анализа ресурсов организации для эксплуатационных или контрольных целей. Далее экспертом производится поиск новых кластеров и типизация их признаков.

Пусть взяты выборки из массивов данных для анализа и оценки безопасности, где различаются первый приоритет i_1 и второй приоритет i_2. Для первого приоритета максимальное количество случаев задач одного типа $k_{i_1\ \mathrm{MAX}}$, для второго – $k_{i_2\ \mathrm{MAX}}$. Если $k_{i_2\ \mathrm{MAX}} > k_{i_1\ \mathrm{MAX}}$, то детализация рассмотрения для второго приоритета больше, чем для первого. Когда $k_{i_2\ \mathrm{MAX}} = k_{i_1\ \mathrm{MAX}}$, а $S^{\mathrm{III}}_{i_1} = S^{\mathrm{III}}_{i_2}$, то на практике имеет место равномерное распределение внимания в работе, все аспекты для анализа и оценки безопасности охвачены.

Если для анализа взято $j = k_{i\,AN}$ из диапазона $1 < j < N$, то можно рассмотреть комбинации случаев из табл. 1.

Таблица 1

Комбинации случаев

Table 1

Combinations of cases

Приоритет *Priority*	Критерий второго уровня *Second-level criteria*	Критерий третьего уровня *Third-level criteria*	
первый приоритет, i_1	$S^{\mathrm{II}}_{i_1} > S^{\mathrm{II}}_{i_2}$	$S^{\mathrm{III}}_{i_1} > S^{\mathrm{III}}_{i_2}$	$S^{\mathrm{III}}_{i_1} < S^{\mathrm{III}}_{i_2}$
второй приоритет, i_2	$S^{\mathrm{II}}_{i_1} < S^{\mathrm{II}}_{i_2}$	не все рассмотрены аспекты задач для i_2	не все рассмотрены аспекты задач для i_1

В ходе анализа количество рассматриваемых случаев может образовывать зоны (области) M (случаи частично учтены, фактически рассмотрены) и N (все учтено, рассмотрено максимально возможное) в диапазоне $1 < M < k_{i\,AN} < N$, где $M < k_{i\,F}$ является количеством случаев, которые могут быть рассмотрены при фактическом профессионализме работников. Если проявляемый ими профессионализм максимален (100 %), то $k_{i\,AN} = k_{i\,\mathrm{MAX}}$. Если $k_{i\,AN} = k_{i\,F}$, то эксперт сужает область рассмотрения, и это должно быть либо обосновано, либо свидетельствует о недобросовестности эксперта.

Для оценок будет иметь место соотношение $S^{II}_{i\,F} = \sum_{j=1}^{M} S_{G_j} < \sum_{j=1}^{N} S_{G_j} = S^{II}_{i\,MAX}$. Величина $S^{II}_{i\,MAX}$ зависит от уровня профессионализма, с его повышением увеличивается уровень внимания и глубины рассмотрения задач.

Уровень культуры безопасности и фактического профессионализма будет характеризоваться соотношением рассмотренных величин $\frac{S^{II}_{i\,F}}{S^{II}_{i\,MAX}} = R^{II}_{i\,SC}$, т. е. компонентов для задачи

одного типа *i*. При $M \to N$ значение $R_{i\,SC}^{II} \to 1$, т. е. уровень культуры безопасности (от англ. *Safety Culture*) повышается до максимального (рис. 1).

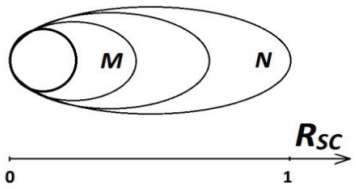


Рис. 1. Схема оценки уровня культуры безопасности по относительной шкале на основании величины зоны (области) данных для задач
Fig. 1. Scheme for assessing the level of safety culture on a relative scale based on the size of the zone (area) of these tasks

В ходе анализа можно определить реперные аналитические точки для рассмотрения организационной деятельности и планирования, выработки рекомендаций на основании табл. 2.

Таблица 2

Примеры реперных аналитических точек

Table 2

Examples of reference analytical points

Реперная точка *Reference point*	Значение *Meaning*
$\frac{S_{i\,MAX}^{II}}{k_{i\,MAX}} = S_{i\,MAX}^{III}$	потенциальное значение; ситуация, когда использованы и вовлечены максимальные средства и внимание
$\frac{S_{i\,F}^{II}}{k_{i\,F}} = S_{i\,F}^{III}$	фактическое значение; если задачи непредставительные для состояния оборудования или безопасности, то $S_{i\,F}^{III} < S_{i\,MAX}^{III}$; если $S_{i\,F}^{III} > S_{i\,MAX}^{III}$, то уменьшение внимания $k_{i\,F} < k_{i\,MAX}$ не сказывается на уровне состояния оборудования или безопасности
$\frac{S_{i\,F}^{II}}{k_{i\,MAX}}$	доля рассмотренных данных, вовлеченных в рассмотрение задачами $k_{i\,F}$ из $k_{i\,MAX}$ возможных, соответствующая уровню $R_{i\,SC}^{II}$ отношения к работе задач *i*
$\frac{\left(S_{i\,MAX}^{II} - S_{i\,F}^{II}\right)}{k_{i\,MAX}}$	доля упущенных данных; полученное значение показывает величину зоны (области) *W*, т. е. *W* = *N*/*M*, области недостатков организационной деятельности и планирования

Тем не менее если для работы или анализа не используется вся доступная детализация массива параметров, то недостаточное внимание должно быть или обосновано, или скомпенсировано другими подходами рассмотрения. Если присутствует несовпадение зон (областей) *M* и *N*, то может иметь место сознательное снижение уровня качества деятельности.

Метод произвольной задачи. Цель – проанализировать сильные и слабые стороны системы организации деятельности по обеспечению безопасности по выбранным основным критериям признаков.

Из массивов признаков $A_{i=1...z}$ выбирается массив основных критериев оценки A_0, а в нем исходный элемент для анализа. Проводится поиск резервов путем непрерывного перебора связей между элементами массивов при поступлении или изменении для них данных. В кластере элементы последующих массивов должны соответствовать предшествующим, иметь с ними причинно-следственную связь. Порядок рассмотрения элементов массивов – ранжирование (согласно замыслу эксперта) для анализа массивов или критериев анализа по значимости. Основные критерии оценки меняются от 1 до Z для каждой оценки, и далее анализ непрерывно (например, мэйнфреймом или суперкомпьютером) повторяется сначала, как показано в иерархическом виде схематично в табл. 3 (критерии анализа – вершины графа, критерии в соседних ячейках могут образовывать связи в графе; построения, рассмотрения и анализ кластера производится в направлении стрелок).

Таблица 3

Примерная схема построения, рассмотрения и анализа кластера

Table 3

An approximate scheme for building, reviewing and analyzing a cluster

Действия эксперта *Expert actions*	Ранжирование (замысел эксперта) для анализа массивов или критериев анализа по значимости (глубина, фактическое рассмотрение увеличивается с рангом) →					
порядок (этапы) рассмотрения массивов →	1→ (основной критерий оценки)	2→	3→ ↓	4→	5→	…
построение графа кластера →	A_0	A_1	A_3	A_6	A_5	…
			A_4			…
		A_2	A_7	A_8		…

Для каждого из построенных графов $G_{j=1...z}$ определяется значимость S_{G_j}, из величин которых получается последовательность от бóльших значений к меньшим. Графы с бóльшей величиной значимости относят к сильной стороне работы, а с меньше – к слабой.

Метод азимутальных годовых (временных) диаграмм. Азимутальные диаграммы можно использовать для формирования временных кластеров событий (связанных по времени или промежутку времени). Значение величины удобно откладывать в полярной системе координат. Для оценки условно 365 или 366 дней следует сопоставить 360 градусам (5 или 6 дней исключаются систематическим путем, например, из месяцев с 31 днем). Можно рассмотреть для анализа любой другой временнóй промежуток до 360 дней. Путем наложения и (или) поворота диаграмм разных параметров, сравнивая величины в разные промежутки времени (годы), можно определить приоритетные отрезки времени, чтобы уделить в этот временнóй промежуток внимание вопросам с более высоким рейтингом (рис. 2).

По отметке на вертикальной линии можно произвести настройку времени анализа (сдвиг или совмещение) рассматриваемых функций или признаков ТС (совмещение дат исходных событий, дат экстремумов, иных технологически важных календарных дат и т. п, а также характеристик кластеров при рассмотрении диаграмм для них). Таким образом может быть рассмотрен кластер, сформированный синхронизацией или совпадением времени некоторых событий. Применение диаграмм позволяет получить дополнительные элементы для анализа кластеров или графов, которые сформировал эксперт согласно своему замыслу (по углу φ по-

лучить время события t или по изменению углов $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ – промежуток времени Δt между событиями).

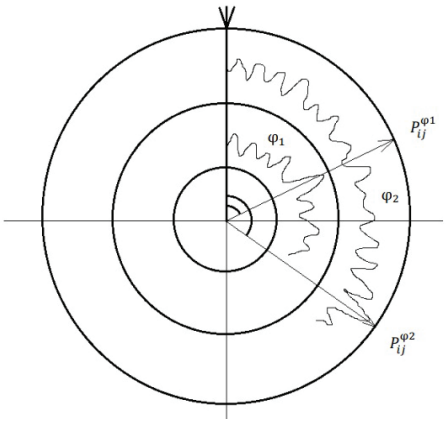


Рис. 2. Схема применения азимутальных годовых (временных) диаграмм для получения связи событий (по времени или промежутку времени)
Fig. 2. Scheme of application of azimuthal annual (time) charts to obtain the relationship of events (by time or time interval)

Для рассмотрения событий можно выбрать промежутки времени (интервал поиска, промежуток анализа или внимания) от начала отсчета до пика величины события (период накопления влияющих факторов) или промежуток между пиками событий, изучая факторы консервации последующего события.

О расстановке акцентов при анализе кластеров для оценки безопасности ТС, специфика применения существующих методов

Деятельность эксперта не хаотична. Он проводит целенаправленную работу по поиску важных элементов для оценки безопасности, чтобы сделать свой вывод или дать рекомендации.

Для анализа кластеров можно использовать имеющийся методологический арсенал из сферы экономики и исследования рынков, но в новом контексте. В разрезе оценки безопасности надо сделать соотнесение категорий и понятий, их ролей в целях изучения уровня безопасности. Математический поиск параметров графов, определение минимумов и максимумов, рейтингов и проведение ранжирования требуют тщательного анализа структуры факторов и картины данных, необходимо делать выводы и проводить DATA MINING. После проведения адекватного понятийного транслирования можно дополнительно использовать некоторые, уже хорошо разработанные методы анализа.

Метод GAP-анализа (от англ. *Gap* – разрыв) представляет целенаправленный поиск «разрывов» в понимании «слабых» звеньев и сторон структур и систем в разрезе обеспечения безопасности и при принятии решений по вопросам управления [2]. Математически это осуществляется в ходе поиска экстремумов данных. GAP-анализ является методом, с помощью которого осуществляется поиск шагов для достижения цели повышения безопасности путем устранения «слабых» звеньев, элементов. В ходе этого анализа надо сделать выводы о текущем состоянии ситуации, идентифицировать «разрывы» между текущим и желаемым или требуемым результатом. В случае проведения анализа причин такого «разрыва» (между текущим и желаемым или требуемым результатом) можно разработать план компенсации мероприятий (по достижению желаемого результата) и выработать рекомендации, например, для уменьшения влияния человеческого фактора, несанкционированных действий и т. п.

Главная цель GAP-анализа стратегических утечек, «разрывов» тут заключается в том, чтобы выявить те возможности, которые могут стать для организации эффективными преимуществами в вопросах обеспечения безопасности, выделить стратегические недостатки в обеспечении безопасности или контроле за ее уровнем.

Метод SWOT-анализа (от англ. *Strength* – сила, *Weakness* – слабость, *Opportunity* – возможность, *Threat* – угроза) в наших целях тут может быть использован для расстановки приоритетов, поиска резервов и слабых сторон организации в разрезе анализа вопросов обеспечения безопасности как с описательными задачами, так и для получения рекомендаций. В целом, в ходе применения этого метода осуществляется структурирование, типизация и оценивание информации, что позволяет выделить сильные и слабые стороны организации деятельности, а также возможные сопутствующие негативные или позитивные факторы, либо «эффекты» организации эксплуатационной или контрольной деятельности в широком спектре вопросов.

Аспекты SNW-анализа (от англ. *Strength* – сила, *Neutral* – нейтральный, *Weakness* – слабость) эксперт может применять для анализа системных вопросов безопасности при организации конкретной работы в организации. Анализ сторон как эксплуатирующей, так и контрольной организации на основании результатов экспертной и надзорной деятельности проводится в ходе анализа организационной культуры в управлении и персональной культуры безопасности для поиска резервов системы (запаса безопасности).

SNW-анализ – это анализ сильных, нейтральных и слабых сторон организации, который позволяет определить, что удалось достичь и чего можно достичь. Правдивая, объективная оценка и анализ дадут при изучении перспективные выводы и рекомендации. Признаки планирования фактически отражают существующий ресурс и возможности структуры организации. Как показала практика, для стратегического анализа внутренней среды организации в качестве нейтральной позиции можно фиксировать состояние для текущей ситуации и относительно ее проводить все оценки.

SNW-анализ часто нужен экспертам по вопросам безопасности для разработки стратегии планирования или деятельности, так как позволяет более глубоко оценить ситуацию и провести необходимые мероприятия и исследования внутренних ресурсов, без которых невозможно полноценно и продуктивно действовать. В этом случае эксперту надо определить факторы оценки, определить средние показатели для установления ориентиров или масштаба оценки (определить критерии положительных и отрицательных признаков), оценить организацию по каждому фактору и выработать рекомендации.

Алгоритм оценки безопасности ТС для СППР

На основании описания перечисленных методов для проведения целевых оценок можно сформулировать исходные элементы внедрения поэтапного подхода оценки безопасности ТС. Количественные характеристики свойств ТС, результаты их анализа могут быть использованы как дополнительные входные данные в СППР.

Особенности рассмотренных в статье методов анализа заключаются в возможности их применять:

- для формирования поэтапного алгоритма оценки на основе аналитического аппарата кластерного анализа;
- внедрения в цифровую поддержку экспертиз и автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП), СППР для повышения качества экспертиз и автоматизированного анализа.

Для АСУ ТП важно иметь в наличии всестороннюю текущую информацию и данные о состоянии ТС для проведения объективного анализа, контроля и принятия управленческих решений. Предлагаемые в статье методы позволяют получить для этого вспомогательную визуаль-

ную информацию. Представленные подходы анализа, такие как разновидность DATA MINING, являются элементами информационного поиска и ситуационного анализа, которые могут применяться в ходе непрерывного или дискретного поступления данных в АСУ ТП или СППР.

Для проведения плановых работ требуется определить количество направлений деятельности и полноты (объема) анализа в цепочке работ «рейтинг 1» → «рейтинг 2» → «рейтинг 3» для конечного числа имеющихся ТС, для количества проверяемых ТС или работающих с ними специалистов, а также в отношении количества вовлеченных для экспертизы сотрудников (по нарастанию их привлечения). Это необходимо, чтобы избежать переполнения информацией при работе и для корректного анализа. Для целевых работ один и тот же метод целесообразно применять с одинаковой полнотой к разным направлениям оценки безопасности ТС.

Таблица 4

Таблица приемлемости применения методов настоящей статьи
для практических целей анализа безопасности ТС

Table 4

The table of acceptability for the methods of this article
for practical purposes for safety analysis of TS

Виды работ, исполнители работ, виды ТС *Types of work, performers of work, types of TS*		Плановая работа *Planned work*			Целевая работа *Targeted work*	
		Рейтинг первого уровня (рейтинг признаков)	Рейтинг второго уровня (рейтинг задач)	Рейтинг третьего уровня (рейтинг внимания)	Метод азимутальных годовых (временных) диаграмм	Метод произвольной задачи
Инспекции, проверки	плановые	да	–	–	Синхронизация важности мероприятий по времени их проведения для разных объектов, специалистов, служб	Таргетированное внимание при выборе проверки объектов
	целевые	да	возможно	–		
	комплексные	да	возможно	возможно		
Работники, службы	специалисты	да	–	–		
	руководители	да	возможно	–		
	группы управления или планирования	да	возможно	возможно		
ТС	отдельное оборудование	да	–	–		
	отдельная система	да	возможно	–		
	цех, участок с комплексом ТС	да	возможно	возможно		

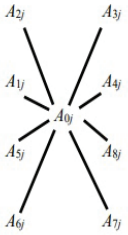
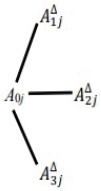
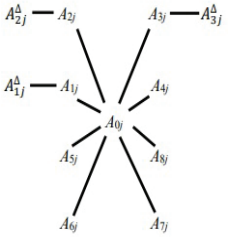
Применение алгоритма оценки безопасности ТС в целях цифровизации работы эксперта или в контексте функционирования СППР возможно при автоматизации вычислительными средствами процедур перебора подходящих данных (элементов) массивов для их анализа и построения функциональных кластеров. Экспертная система может быть представлена в виде интерактивной оболочки для консультантов или лиц, принимающих решения, чтобы помочь им собирать полезную информацию из комбинации данных, проводить DATA MINING

Таблица 5

Алгоритм-схема построения кластеров в целях их использования для оценки безопасности ТС (с иллюстративными случаями)

Table 5

The algorithm-scheme for building clusters in order to use them to safety assessment of TS (with illustrative cases)

Структура входных данных, массивы, ТС, индикаторы безопасности *Input data structure, arrays, TS, safety indicators*				Кластер систем и комплексов *Cluster of systems and complexes*	Кластер изменений *Cluster of changes*	Смешанный кластер *Mixed cluster*
Признаки массивов			Элементы массивов	Подзадача 1	Подзадача 2	Подзадача 3
Массив ТС (из перечня по проекту ТС)			A_{0j}			
Эксплуатационные данные	Параметры	безопасности	$A_{1J}\,A_{1J}^{\Delta}$			
		управления	$A_{2J}\;A_{2J}^{\Delta}$			
		аварийных систем	$A_{3J}\;A_{3J}^{\Delta}$			
		снабжения	A_{4j}			
Данные о деятельности персонала	Характеристики	осмотра	A_{5j}			
		технического обслуживания	A_{6j}			
		ремонта	A_{7j}			
		инспекций	A_{8j}			
цепочка «рейтинг 1» → «рейтинг 2» → «рейтинг 3»	*Рейтинг первого уровня (рейтинг признаков)* ↓ ↓			G_{l1} ↓ $S_{G_{l1}}$	G_{l2} ↓ $S_{G_{l2}}$	G_{l3} ↓ $S_{G_{l3}}$
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Рейтинг второго уровня (рейтинг задач)			$S_{i1}^{II}=\sum_{l} S_{G_{l1}}$	$S_{i2}^{II}=\sum_{l} S_{G_{l2}}$	$S_{i3}^{II}=\sum_{l} S_{G_{l3}}$
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Рейтинг третьего уровня (рейтинг внимания)			для различных графов k_i для каждой отдельной задачи $S_i^{III}=\frac{S_i^{II}}{k_i}$		

Примечание: Представлена примерная схема построения кластеров для задач и возможных подзадач. Содержание признаков массивов может быть расширено и дополнено. В таблице предложена демонстрационная выборка для характеристик ТС. На практике могут быть случаи иных связей вершин кластеров. Для подзадачи 2 следует практиковать применение метрик и расстояний для анализа разброса и (или) отклонения количественных данных.

Таблица 6

Схема использования некоторых качественных методов анализа
после применения кластерного анализа безопасности ТС

Table 6

Scheme of the use of some methods of qualitative analysis after the application
of cluster analysis of TS safety

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Условия применения
Terms of use</td><td colspan="3">Случаи
Cases</td></tr>
<tr><td>S_{MIN}</td><td>< промежуток<</td><td>S_{MAX}</td></tr>
<tr><td colspan="3">Мнение эксперта в зависимости от замысла его задачи</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Для одной отдельной последовательности $S_{G_{l1}}$</td><td rowspan="2">GAP-анализ</td><td>плохо (проблемно)</td><td rowspan="2">«серая» зона данных (требуется их уточнение)</td><td>хорошо</td></tr>
<tr><td>хорошо</td><td>плохо (проблемно)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Для нескольких отдельных последовательностей S_{G_l}</td><td>SWOT-анализ</td><td colspan="3">недостаток данных ¦ ¦ резерв данных для анализа</td></tr>
<tr><td rowspan="2">SNW-анализ</td><td>мало данных</td><td rowspan="2">резерв для рассмотрения</td><td>достаточно данных</td></tr>
<tr><td>работа обеспечена ресурсами</td><td>работа не обеспечена ресурсами</td></tr>
</table>

в пассивном (только анализировать), активном (предлагать решения и альтернативы) и комбинированном (получать/отдавать команды на уточнение данных и формировать оптимальное решение) режимах. Это позволяет получать более обоснованные управленческие решения, является средством повышения эффективности управления и проиллюстрировано для случаев и примеров, указанных в табл. 4–6.

При наличии недостатка данных для экспертного анализа безопасности ТС функционирование алгоритма для DATA MINING обеспечивает коммуникативные возможности для совместной деятельности многих специалистов (например, при надзоре или управлении), рассматривающих вопрос безопасности ТС с разных позиций. Работа таких алгоритмов базируется на использовании информации существующих баз данных для разных ТС, а также вносит в них новые комбинации данных. Способ DATA MINING здесь может применяться для получения решения в ходе синтеза знаний, сбора опыта анализа аналогичных задач из других сфер техники.

Оценка безопасности ТС осуществляется экспертом, так же как и генерация решений СППР, на каждом своем этапе по нескольким направлениям. Например, при определении условий, в которых требуется принятие решения; в проектном разрезе – для рассмотрения конкретного замысла или его альтернатив; при селекции в ходе выбора оптимального решения из множества рассмотренных или возможных альтернатив; в ходе внедрения, реализации или адаптации выбранного решения для конкретных условий и при выработке рекомендаций по безопасности ТС.

Исходные данные (входы СППР) представляют собой свойства, факторы или признаки (атрибуты), описывающие эксплуатационные или бизнес-процессы с ТС, для которых необхо-

димо принятие решения, а также знания специалистов или экспертов. Результатами исследования эксперта (выходами СППР) являются данные и (или) их анализ, на основе которых либо генерируются решения, либо они сами являются решениями.

Заключение

При использовании кластерного анализа исследователем проводится разбивка множества рассматриваемых объектов и признаков на удобные для понимания группы или кластеры. Однако с точки зрения эффективности дальнейших управленческих решений важно установить, кто определяет и проводит выборку признаков и их предварительную сортировку, т. е. до работы эксперта. Иначе подготовительная работа должна проводиться самими экспертом, специалистом по вопросам оценки безопасности ТС (внешним экспертом или исследователем в сфере эксплуатации ТС). Для решения задач классификации данных и выявления соответствующей структуры, создания комплексного документа для анализа со множеством признаков для использования методик кластерного подхода требуется реорганизация нормативных документов, где должно быть проведено четкое разграничение между требованиями к разработчикам как по обязательным мероприятиям, так и по дополнительным мероприятиям, которые проводятся в ходе экспертного рассмотрения проектов ТС.

Современные экспертные методы должны обладать свойствами аналитической обработки данных, возможностью построения математических моделей для программного анализа параметров. Хотя при решении ограниченных, целевых задач перебор параметров может проводиться самим экспертом вручную, но наличие математических моделей обработки данных и принятия решений позволяет автоматизировать анализ (вычислительными средствами), проводить перебор данных непрерывно и постоянно, без остановки, предлагая информацию для принятия управленческих решений. Для этого важно иметь в арсенале методы анализа для решения тактических и стратегических задач по оценке уровня безопасности, в том числе и с применением закономерностей теории графов.

Дополнительные данные и информация расширяют возможности и эффективность АСУТП и СППР. Это заключается в повышении обоснованности при принятии управленческих решений в условиях неопределенности либо недостатка данных или информации, быстрого изменения эксплуатационных условий.

Использование дополнительных методов анализа позволяет провести более глубокую и всестороннюю оценку уровня безопасности объектов и устройств. При проведении сравнения характеристик разных проектов ТС можно более детализировано выделить их преимущества и недостатки, «слабые» стороны [2].

Список литературы

1. **Лобач Д. И., Ракитская Д. В.** Сэйфеометрика. О количественной оценке величин при определении уровня безопасности // Промышленная безопасность. 2022. № 10. С. 46–47.
2. **Лобач Д. И.** О развитии экспертных возможностей для рассмотрения проектов оборудования и технологических решений // Системный анализ и прикладная информатика. 2023. № 2. С. 38–41. https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-2-38-41
3. **Лобач Д. И.** Новые проблемы, методология и возможности сэйфеометрики // Промышленная безопасность. 2023. № 1. С. 34–36.
4. **Ковалев М. М.** Образование для цифровой экономики // Цифровая трансформация. 2018. № 1 (2). С. 37–42.

5. **Фрич Р., Перегуд Е. Е., Мациевский С. В.** Избранные главы теории графов: Учебное пособие / Пер. с нем. Е. Е. Перегуда; Под ред. С. В. Мациевского. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008. 204 с.
6. **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.
7. Operational Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants. International Atomic Energy Agency, TECDOC Series no. 1141. Vienna: IAEA, 2000.
8. **Шарафутдинов Р. Б., Кузнецов Л. А., Богданова Т. Ю.** Использование систем индикаторов безопасности зарубежными органами регулирования ядерной и радиационной безопасности // Ядерная и радиационная безопасность. 2008. № 2. С. 5–9.
9. **Хамаза А. А.** Предложения по внедрению риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности в области использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2016. № 1. С. 1–6.
10. **Tryon R. C.** Cluster analysis. London: Ann Arbor Edwards Bros, 1939.
11. **Дюран Б., Оделл П.** Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977. 128 с.
12. **Жамбю М.** Иерархический кластер-анализ и соответствия. М.: Финансы и статистика, 1988. 345 с.
13. **Мандель И. Д.** Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.

References

1. **Lobach D. J., Rakitskaya D. V.** Safeometrics. About quantitative assessment of data for safety level determining. Promyshlennaja bezopasnost [Promyšlennaâ bezopasnostʹ], 2022, no. 10, pp. 46–47. (in Russ.)
2. **Lobach D. J.** About development of expert possibilities for consideration of equipment projects and technological decisions. Sistemny analiz i prikladnaja informatika [System analysis and applied information science], 2023, no. 2, pp. 38–41. (in Russ.) https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-2-38-41
3. **Lobach D. J.** New problems, methodology and possibilities of Safeometrics. Promyshlennaja bezopasnost [Promyšlennaâ bezopasnostʹ], 2023, no. 01, pp. 34–36. (in Russ.)
4. **Kovalev M. M.** Education for the Digital Economy. Cifrovaja transformacija [Digital transformation], 2018, no. 1 (2), pp. 37–42. (in Russ.)
5. **Frich R., Peregud E. E., Matsievsky S. V.** Selected chapters of graph theory: Textbook. Translated from German by E. E. Peregud; Edited by S. V. Matsievsky. Kaliningrad: Publishing House of the I. Kant Russian State University, 2008, 204 p. (in Russ.)
6. **Berikov V. S., .Lbov G. S** Modern trends in cluster analysis. *All-Russian competitive selection of review and analytical articles on the priority direction "Information and telecommunication systems*", 2008, 26 p. (in Russ.)
7. Operational Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants. International Atomic Energy Agency, TECDOC Series no. 1141, Vienna: IAEA, 2000.
8. **Sharafutdinov R. B., Kuznetsov L. A., Bogdanova T. Yu.** The use of safety indicator systems by foreign regulatory bodies of nuclear and radiation safety. *Jadernaja i radiatcionnaja bezopasnost* [*Nuclear and Radiation Safety*], 2008, no. 2, pp. 5–9. (in Russ.)
9. **Hamaza A. A.** Proposals for the introduction of a risk-based approach in control and supervisory activities in the field of atomic energy use. *Jadernaja i radiatcionnaja bezopasnost* [*Nuclear and Radiation Safety*], 2016, no. 1, pp. 1–6. (in Russ.)
10. **Tryon R. C.** Cluster analysis. London, Ann Arbor Edwards Bros, 1939.
11. **Duran B., Odell P.** Cluster analysis. Moscow, Statistics publ., 1977, 128 p. (in Russ.)

12. **Zhambu M.** Hierarchical cluster-analysis and correspondence. Moscow, Finance and Statistics publ., 1988, 345 p. (in Russ.)
13. **Mandel I. D.** Cluster analysis. Moscow, Finance and Statistics publ., 1988, 176 p. (in Russ.)

Сведения об авторе

Лобач Дмитрий Иосифович, кандидат технических наук

Information about the Author

Dmitry J. Lobach, Candidate of Sciences (Technical Sciences)

Статья поступила в редакцию 05.12.2023;
одобрена после рецензирования 09.04.2024; принята к публикации 09.04.2024

The article was submitted 05.12.2023;
approved after reviewing 09.04.2024; accepted for publication 09.04.2024