

Модель оценки влияния мероприятий пожарной безопасности на агрегатную цель для цифровых двойников объектов ТЭК

© Н. Г. Топольский¹, И. В. Самарин^{2✉}, А. Ю. Строгонов², Кйеу Туан Ань³

¹ Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

² Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1)

³ Институт пожарной безопасности Министерства общественной безопасности Вьетнама (Вьетнам, 100000, г. Ханой, ул. Йет Киеу, 44)

РЕЗЮМЕ

Введение. Отмечена актуальность и важность учета требований к пожарной безопасности (ПБ) на производственных объектах топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в рабочем процессе. Планирование мероприятий по обеспечению ПБ следует учитывать при разработке виртуальных двойников данных объектов, принимая во внимание требования к информационной безопасности (ИБ). Выделена необходимость учета стратегических целей при подобном моделировании. Для повышения качества создаваемых виртуальных прототипов предложен аппарат стратегического планирования, позволяющий учесть множество рисков, определенных экспертной группой. Целью работы является получение модели, с помощью которой можно оценить особенности обеспечения ПБ и ИБ, а также связанные с ним риски.

Методы исследования. Вначале определена стратегическая цель, связанная с выполнением производственных функций объекта ТЭК, от которых зависит получение прибыли. Для упрощения модели опасные факторы распределили по независимым категориям: риски негативных последствий, связанных с ПБ и ИБ, загрязнением среды, остановкой технологического процесса из-за внешних проверок. Для каждой категории представлен вывод экспертного и расчетного значений. Экспертные оценки могут быть получены с помощью обратносимметричных матриц парного сравнения, а расчетные — с использованием градуировки категорий по шкале ущерба. Описана функция вероятности, соотнесенная с каждым участком объекта ТЭК. Так рассчитывается негативное влияние опасных факторов.

Результаты исследования. Учитывая выделенную в исследовании функцию вероятности, можно получить матрицу распределения влияния опасных факторов на объект ТЭК. Описанную выше процедуру применяем для второго и третьего уровней иерархии влияния. Второй уровень включает опасные факторы, третий — мероприятия по предотвращению их влияния. Итоговым результатом является получение распределения влияния мероприятий по участкам объекта ТЭК.

Заключение. Отмечены преимущества технологии цифровых двойников при планировании ПБ объектов ТЭК. Применение стратегического планирования позволяет разработать модель цифрового двойника, учитывающую влияние мероприятий на достижение целей обеспечения ПБ и ИБ.

Ключевые слова: иерархия; математическая модель; метод анализа иерархий; решающая матрица; экспертная оценка; стратегическое планирование; производственная функция; функция вероятности; информационная безопасность; автоматизация.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю., Кйеу Туан Ань. Модель оценки влияния мероприятий пожарной безопасности на агрегатную цель для цифровых двойников объектов ТЭК // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 3. — С. 50–58. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.50-58.

✉ Самарин Илья Вадимович, e-mail: ivs@gubkin.ru

Model of an assessment of impact of fire safety measures on the aggregate target for the digital twins of fuel and energy complex facilities

© Nikolay G. Topolskiy¹, Ilya V. Samarin^{2✉}, Andrey Yu. Strogonov², Kieu Tuan Anh³

¹ State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

² Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation)

³ Institute of Fire Safety, Vietnam Ministry of Public Security (Yet Kieu St., 44, Hanoi, 100000, Vietnam)

ABSTRACT

Introduction. Introductory part of this paper considers the actuality and importance of taking into account the requirements for fire safety (FS) at the production facilities of the fuel and energy complex (FEC) in the working process. The process of development of virtual twins of these objects should include planning of FS measures considering the requirements for information security (IS). There are noted the necessity of definition of strategic goals in such modeling. Authors propose strategic planning apparatus to improve the quality of created virtual prototypes. This kind of planning allows to take into account the many risks identified by the expert group. The objective of scientific research is to obtain a model by which it is possible to assess the features of the provision of FS and IS.

Methodology. The strategic goal associated with the performance of the production functions of the FEC facility, on which profit depends, is defined. To simplify the model dangerous factors were distributed into independent categories: risks of negative consequences connected with FS and IS, environmental pollution and process stoppage due to external inspections. The output of the expert and calculated values is presented for each category. Expert evaluations can be obtained using inverse symmetric pairwise comparison matrices and calculated evaluations using category grading on the damage scale. The probability function correlates with each part of the FEC facility. The negative impact of the dangerous factors is calculated that way.

Results. It is possible to obtain a matrix of distribution of influence of dangerous factors using the probability function selected in the study. The above procedure is used for the second and third levels of the hierarchy of influence. The second level includes factors, the third — measures to prevent the influence of dangerous factors. The final result is obtaining the distribution of the impact of activities on the parts of the FEC facility.

Conclusion. Finally, it was noted advantages of digital twin technology in planning FS of facilities of the FEC. The use of strategic planning allows to develop a digital twin model, taking into account the impact of activities on the achievement of the objectives of ensuring of FS and IS.

Keywords: hierarchy; mathematical model; analytic hierarchy process; decision matrix; expert evaluation; strategic planning; production function; probability function; information security; automation.

For citation: N. G. Topolskiy, I. V. Samarin, A. Yu. Strogonov, Kieu Tuan Anh. Model of an assessment of impact of fire safety measures on the aggregate target for the digital twins of fuel and energy complex facilities. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 3, pp. 50–58 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.50-58.

✉ Ilya Vadimovich Samarin, e-mail: ivs@gubkin.ru

Введение

Требования к пожарной безопасности (ПБ) объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) всегда были и по сей день остаются наиболее важными для их деятельности. Профилактические и иные работы в этом направлении необходимо тщательно планировать и проводить в соответствии с разрабатываемыми для этих целей документами. Выполнение требований стандартизации в сфере управления безопасностью позволит эффективно справиться с непредвиденными событиями на производственном объекте [1]. И несмотря на то что в результате функционирования тех или иных объектов возможно возникновение кризисных ситуаций, не учтенных стандартами, наличие базы, характеризующей всевозможные меры безопасности, крайне важно. Так, например, с учетом особых характеристик углеводородов мерам по предотвращению пожаров и взрывов на объектах нефтяной отрасли уделяется особое внимание [2].

Согласно прогнозам компании Gartner [3] к 2021 г. половина крупных промышленных предприятий будет использовать цифровые двойники при решении широкого спектра производственных задач, что в свою очередь может привести к повышению эффективности управления и планирования на 10 %. В связи с активным внедрением в настоящее время систем виртуальных производств, инструментов “Индустрии 4.0” на объектах ТЭК [4, 5] при создании их виртуальных двойников следует не только предус-

матривать вопросы планирования и проведения мероприятий по обеспечению ПБ, но и тесно увязывать их с информационной безопасностью (ИБ) [6]. Требования ИБ должны учитываться наряду с иными требованиями при моделировании работы цифровых прототипов. Однако следует принимать во внимание, что требования по ИБ к цифровым объектам защиты на сегодняшний день строго не обозначены и не стандартизированы [4]. Согласно паспорту национальной программы “Цифровая экономика Российской Федерации” лишь к началу 2022 г. предусмотрена реализация проекта по разработке стандартов ИБ в системах, реализующих технологии искусственного интеллекта [7]. Информационная безопасность может выступать в свою очередь драйвером развития технологий, совмещающих виртуальное и реальное производство, ведь отражение производственных процессов в виде подобных моделей неизбежно приводит к проблеме утечки информации. В связи с этим данную проблему следует решать в первую очередь.

В работе [8] были проанализированы особенности управления проведением мероприятий ПБ на объектах ТЭК, подходы к оценке качества принятия решений в автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности. В настоящем исследовании описан механизм планирования мероприятий по обеспечению ПБ при разработке виртуальных двойников данных объектов с учетом необходимых стратегических целей.

Моделированию с помощью инструментов “Индустрии 4.0” подвергаются все (в том числе еще не созданные) участки (цеха, отдельные производственные линии, производственные участки, отдельные рабочие места). Подобное моделирование позволяет учесть многие возможные обстоятельства их работы и на этапе проектирования выявить неточности, ошибки, расхождений, что даст возможность в будущем улучшить различные аспекты их функционирования [9, 10]. Такой процесс тесно связан с обработкой большого объема накопленной информации (больших данных). Принятие решений все чаще зависит от точности накапливаемых данных и их анализа. Использование больших данных в промышленности может иметь ценность только в случае специальной обработки их методами, отличающимися от традиционных. Важно различать функции и задачи цифровых двойников и технологии больших данных [11]. Дополняя друг друга, на начальном этапе развития “Индустрии 4.0” они могут стать эффективными инструментами при моделировании пожарной безопасности на объектах ТЭК. Однако в России процесс внедрения подобных технологий только начинает набирать обороты: устаревшее оборудование не позволяет получать требуемый для анализа и моделирования объем информации, а инфраструктура не всегда готова обрабатывать такие данные.

Основа подобных моделей обычно включает подходы, связанные со взглядами на производственный процесс разработчиков инструментов моделирования производств [12, 13]. В получаемых виртуальных моделях зачастую достигаются частные, привязанные непосредственно к производственному процессу цели, а важные в стратегическом плане цели высших руководителей объектов ТЭК и их инвесторов при этом не учитываются.

Вместе с тем реальные условия эксплуатации созданных с помощью подобных цифровых программных оболочек виртуальных объектов ТЭК требуют более гибких средств моделирования, которые бы позволяли учитывать все необходимые стратегические цели. Поэтому для повышения качества таких моделей и внедрения передового отечественного опыта работы в области управления производственными процессами следует внедрять в уже созданные инструменты новые алгоритмы и модели, учитывающие различные стратегические цели при моделировании любых работ на виртуальных объектах ТЭК. Логично предположить, что этим целям в полной мере соответствует математический аппарат стратегического планирования, позволяющий на основе анализа иерархий, экспертных оценок и решающих матриц [14, 15] определять степень влияния отдельных мероприятий на поставленные стра-

тегические цели, снижая тем самым риски ошибочных инвестиций, возникновения коллизий и ситуаций, связанных с принятием рисков, в том числе угроз ИБ.

Для непосредственного включения заявленных задач в цифровые двойники объектов ТЭК в их цифровые модели, помимо мероприятий по обеспечению информационной и пожарной безопасности на объектах ТЭК, следует внести отдельные внутренние процедуры руководителей соответствующих подразделений, которые также содержат задачи обеспечения ПБ и ИБ на закрепленных за ними объектах. Такие процедуры обычно реализуются на уровне подчиненных подобъектов и бывают связаны с проведением экологического мониторинга, непосредственно связанного с ПБ, и проверками их уполномоченными государственными органами. В связи с тем что перед каждой проверкой необходимо разработать план и программу ее проведения, а также с тем, что проводимые в рамках таких проверок запланированные мероприятия влияют на производственный процесс объектов ТЭК в целом, их учет в виртуальных моделях объектов ТЭК крайне важен для достижения стратегических целей, поставленных перед управляющими инвесторами объекта. Как правило, для каждой проверки такие планы и программы разрабатываются на среднесрочный и долгосрочный периоды.

Целью исследования является построение математической модели, позволяющей при разработке цифровых двойников производственных объектов ТЭК учитывать особенности обеспечения ПБ, а также угроз ИБ и требований к ней. Для решения обозначенной авторами задачи использован инструментальный стратегического планирования, учитывающий разветвленный характер категорий факторов, влияющих на возникновение опасных ситуаций. Поэтапно определяются экспертные оценки негативного влияния выделенных факторов с помощью обратносимметричных матриц парного сравнения [16]. Описан механизм получения трехуровневой иерархии влияния. Используя отдельные элементы последнего уровня, можно оценить воздействие опасных факторов на общую защищенность участка объекта ТЭК.

Методы исследования

Для формирования учитывающей иерархию угроз ПБ и ИБ, иерархию требований экологического мониторинга и проверяющих организаций математической модели, которую можно было бы использовать в цифровом двойнике объекта ТЭК, понадобится определить показатели влияния перечисленных особенностей на цели, поставленные перед объектом ТЭК инвесторами. Формирование таких пока-

зателей из-за множества подлежащих учету факторов в цифровых моделях объектов ТЭК следует вести в автоматизированном режиме, что и было предложено по ряду позиций отечественными специалистами по разработке специального программного обеспечения (СПО) [17–19].

Будем здесь и далее рассматривать в качестве стратегической цели для объекта ТЭК выполнение его прямых производственных функций, связанных с получением прибыли (при производстве продукции или обеспечении услуг). Для упрощения расчетов будем считать, что производственные функции, связанные с объектом ТЭК, характеризуют некоторую заданную прибыль, которую примем равной 1. Фактически влияние факторов на данную величину будем рассматривать как произведение возможного ущерба, рассчитанного в процентах от общей стоимости объекта ТЭК, на вероятность возникновения опасного события, при котором данный фактор реализован.

Для упрощения описания подхода при построении количественной модели расчета с применением методов стратегического планирования по аналогии с описываемым в [20] графом сгруппируем по категориям необходимые для учета опасные факторы, которые способствуют появлению опасных ситуаций на объекте ТЭК. Для более точного расчета в дальнейшем потребуется учесть физическое расположение опасных событий и зон их негативного влияния на объекте ТЭК.

Будем группировать выбранные для расчета опасные факторы по следующим категориям рисков негативных последствий, связанных:

- с пожарной безопасностью;
- с информационной безопасностью;
- с загрязнением окружающей среды;
- с частичной (или полной) остановкой либо консервацией производственного процесса на период работы проверяющих или аудиторов.

Следует считать данные группы факторов независимыми. Это упростит расчет и позволит сделать его более наглядным.

Учитывая, что каждая из приведенных категорий факторов представляет собой иерархическую структуру, или неориентированный граф, для каждой из вершин которого вводится своя иерархия требований (аналогично методу анализа иерархий [14, 21, 22]), при построении детальной количественной схемы процесса негативного влияния опасных факторов перечисленные категории следует раскрыть и дополнить. Однако при решении поставленной математической задачи в общем виде общее количество указанных факторов, которые могут оказывать негативное влияние на поставленную стратегическую цель, значения не имеет.

Занесем в таблицу перечисленные категории, обозначения факторов, их значения, которые могут быть определены экспертами, а также вероятные значения, полученные на основе математического расчета. Общую формулу расчета негативного влияния факторов указанных категорий приведем ниже.

Экспертная оценка определяется на основании обратносимметричных матриц парных сравнений [16], которые содержат в качестве значений величины присвоенных им экспертами оценок. Для каждого из факторов в целях повышения точности экспертных оценок строится своя обратносимметричная матрица (1).

Матрица $P^i(1)$ построена для i -й категории факторов влияния:

$$P^i = \begin{pmatrix} P_{11}^i & \cdots & P_{1m}^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1}^i & \cdots & P_{mm}^i \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Значениями матрицы P^i являются оценки, данные каждым из m экспертов в контексте заданной стратегической цели. Каждая из матриц P^i обратносимметрична. Это значит, что

$$P_{jk}^i = 1/P_{kj}^i. \quad (2)$$

Элементами данной матрицы являются величины P_{jk}^i экспертно определяемых отношений значимостей k -го фактора по отношению к значимости j -го фактора. Данные величины используются затем для получения собственных значений матриц типа (1) для каждого из опасных факторов [14]. Будем считать, что для матрицы P^i получено значение π_i .

Расчетное значение для данной категории факторов можно получить на основе градуировки перечисленных категорий факторов по некоторой шкале ущерба. Выбрав все необходимые оценки по шкале, имеем:

$$\sum_{i=1}^4 O_i = O, \quad (3)$$

где O_i — значение по шкале для i -й категории факторов влияния;

O — суммарное значение факторов.

Тогда итоговое значение опасности D_i для i -й категории составит:

$$D_i = O_i/O. \quad (4)$$

Следовательно,

$$\sum_{i=1}^4 D_i = 1. \quad (5)$$

Теперь у нас есть все данные для таблицы.

Объект ТЭК делится на участки. Для каждого участка рассчитывается влияние сначала категории

Категории факторов негативного влияния на объект ТЭК

Categories of negative influence factors on the fuel and energy complex facility

№ п/п No.	Обозначение категории Category designation	Категория факторов опасного влияния Category of factors of dangerous impact	Значение влияния Impact value	
			полученное при экспертной оценке obtained by expert evaluation	итоговое final
1	μ_1	Риски негативных последствий, связанных с ПБ The risks of negative consequences associated with the fire safety	π_1	D_1
2	μ_2	Риски негативных последствий, связанных с ИБ The risks of negative consequences associated with the information security	π_2	D_2
3	μ_3	Риски негативных последствий, связанных с загрязнением окружающей среды Risks of negative consequences associated with environmental pollution	π_3	D_3
4	μ_4	Риски негативных последствий, связанных с частичной (или полной) остановкой либо консервацией производственного процесса на период работы проверяющих или аудиторов Risks of negative consequences associated with partial (or complete) shutdown or conservation of the production process for the period of work of inspectors or auditors	π_4	D_4

факторов. Для этого ему ставится в соответствие функция вероятности

$$A(\mu_j) = B + \sum_{i=1}^Q a_i D_i, \quad (6)$$

где Q — количество категорий факторов влияния для расчета;

μ_i — категория факторов влияния;

a_i — наличие на выбранном участке категории фактора влияния;

$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{если;} \\ 1, & \text{нет,} \end{cases} \quad (7)$$

B — коэффициент ущерба;

$$B = B_{\text{уч}} / B_{\text{max}}; \quad (8)$$

$B_{\text{уч}}$ — максимально возможный ущерб от всех категорий факторов влияния на данном участке;

B_{max} — максимально возможный ущерб от всех категорий факторов влияния на всем объекте ТЭК.

Анализ результатов

В результате расчета можно получить матрицу распределения категорий факторов влияния на объекте ТЭК:

$$A(\mu) = \begin{pmatrix} A(\mu)_{11} & \dots & A(\mu)_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A(\mu)_{Q1} & \dots & A(\mu)_{QM} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где M — число участков;

Q — число категорий факторов влияния.

Для каждой из категорий факторов описанную процедуру следует повторить, уточнив, какие именно

факторы в нее входят. Например, для рисков, связанных с ПБ, следует учитывать факторы, часть из которых приведена ниже:

- близость объекта ТЭК к линиям электрических передач высокого напряжения;
- плотность размещения подключений на единицу площади;
- плотность электрических реле на единицу площади объекта ТЭК;
- ведение профилактических работ персоналом на открытых участках объекта ТЭК, где есть пары горючих материалов;
- ведение работ персоналом с применением металлического ручного и электрического инструмента в закрытых взрыво- и пожароопасных помещениях, имеющих железные покрытия, и т. п.

Для категории рисков, связанных с ИБ, следует рассматривать примерно такие факторы:

- оценочное значение нагрева горючих материалов при работе Wi-Fi-соединений на объекте ТЭК;
- количество правильно и корректно настроенных штатных средств поддержания ИБ объекта ТЭК;
- количество технических каналов возможной утечки информации при применении датчиков состояния объекта ТЭК для построения его виртуального двойника;
- количество вероятных способов несанкционированного доступа к элементам передачи данных от датчиков состояния объекта ТЭК при реализации виртуального двойника объекта ТЭК и т. п.

Для категории негативных последствий, связанных с загрязнением окружающей среды, необходимо учесть ориентировочно такие факторы:

- объем горючих материалов, хранящихся на объекте ТЭК;
- объем горючих материалов в открытых резервуарах;
- количество резервуаров, в которых хранение горючих и опасных веществ осуществляется открытым способом;
- дистанция от каждого из таких резервуаров до границы контролируемой зоны объекта ТЭК;
- износ очистных сооружений по каждому из объектов ТЭК и т. п.

Для категории негативных последствий, связанных с частичной (или полной) остановкой либо консервацией производственного процесса на период работы проверяющих или аудиторов, необходимо учесть следующие факторы:

- количество непринятых в обработку горючих материалов;
- нормо-часы персонала, обслуживающего резервуары с горючими материалами, потерянные в результате выполнения ими действий, не связанных с профессиональными обязанностями;
- прямые потери от простоя проверяемых участков;
- косвенные потери, связанные с ликвидацией последствий простоя на участках, где переработка должна идти непрерывно, и т. п.

Для каждой из перечисленных категорий (в нашем случае четырех, но может быть и больше) значения по факторам влияния заносятся в отдельные таблицы. Будем называть их таблицами 2-го уровня (см. рисунок).

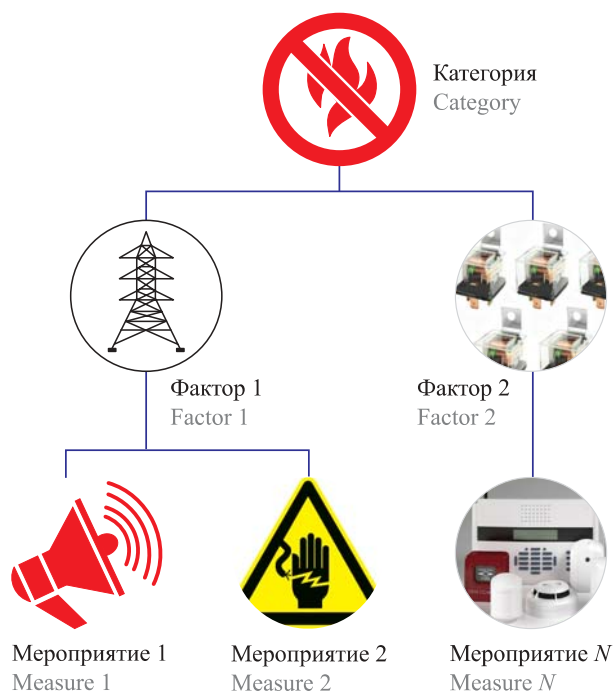
Далее для каждой из позиций таблиц 2-го уровня описанная выше последовательность действий повторяется. В итоге по каждой из категорий получается распределение влияния опасных факторов.

Затем для каждого из факторов формируется таблица, содержащая мероприятия по предотвращению влияния опасных факторов, включенных в планы на отдельных участках объекта ТЭК [21, 22]. Эти таблицы, формируемые для каждой позиции таблиц 2-го уровня, следует считать таблицами 3-го уровня. Выполняя для них действия в аналогичной последовательности, можно получить распределение влияния мероприятий по участкам объекта ТЭК.

Как уже говорилось выше, количество категорий факторов влияния может быть различным. Если полагать его равным N , то собственные значения матриц категорий факторов влияния π_i в общем виде образуют вектор собственных значений матриц 1-го уровня (см. таблицу, графа 4):

$$\pi^I = \{\pi_1^I, \pi_2^I, \dots, \pi_N^I\}, \quad (10)$$

где π_i^I — собственное значение матрицы категорий факторов.



Пример иерархии влияния
Example of a hierarchy of influence

Аналогичным образом рассчитываются векторы собственных значений для таблиц 2-го и 3-го уровней.

Значение влияния отдельного мероприятия можно рассчитать исходя из предположения об агрегатном показателе влияния, который можно вычислить, последовательно умножая вектор типа (10) на матрицу типа (9) для каждого из уровней иерархии (см. рисунок). В этом случае итоговая матрица будет содержать влияние мероприятия на общую защищенность участка объекта ТЭК.

Заключение

Проблема обеспечения приемлемого уровня пожаровзрывобезопасности стратегически важных производственных объектов ТЭК довольно сложна и зависит от многих факторов. Усложнение, информатизация технологических процессов влекут за собой необходимость создания новых эффективных средств для повышения качества управления объектом. Одним из таких средств является технология цифровых двойников. Планирование пожарной безопасности с помощью данной технологии способно предусмотреть скрытые, неявные факторы влияния, повысить скорость планирования и, как следствие, оперативность принятия решения. Представляя собой полезный, важный объект управления, виртуальная модель связана с угрозами информационной безопасности. Перечень мер по защите цифровых двойников, требования по ИБ в настоящее время строго не определены.

В работе предложен вариант применения методов стратегического планирования при анализе влияния отдельных мероприятий на достижение целей обеспечения пожарной и информационной

безопасности на объектах ТЭК, позволяющий создать математическую модель, которую можно использовать при разработке цифровых двойников указанных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Antonsen S., Skarholt K., Ringstad A. J.* The role of standardization in safety management — A case study of a major oil & gas company // *Safety Science*. — 2012. — Vol. 50, No. 10. — P. 2001–2009. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.11.001.
2. *Dawoud S. M.* Fire protection in the petroleum industry // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition* (11–14 November 2007, Anaheim, California, USA). DOI: 10.2118/110521-ms.
3. *Petty Christy.* Prepare for the impact of digital twins. — September 18, 2017. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/> (дата обращения: 16.02.2019).
4. “Цифровые двойники” как новый объект защиты в условиях формирования цифровой экономики / Центр стратегических оценок и прогнозов. — 15 июня 2018. URL: <http://csef.ru/ru/politica-i-geopolitica/445/> (дата обращения: 10.02.2019).
5. *Prakash J.* Digital twins define oil & gas 4.0. URL: <https://www.arcweb.com/blog/digital-twins-define-oil-gas-40> (дата обращения: 16.02.2019).
6. *Thames L., Schaefer D.* (eds). *Cybersecurity for industry 4.0*. — Cham : Springer International Publishing AG, 2017. — 265 p. DOI: 10.1007/978-3-319-50660-9.
7. Паспорт национальной программы “Цифровая экономика Российской Федерации”. URL: <https://digital-api.ac.gov.ru/upload/iblock/ef4/Паспорт%20нацпрограммы%20с%20сайта%20правительства.pdf> (дата обращения: 10.02.2019).
8. *Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю.* Методика оценки эффективности управления мероприятиями пожарной безопасности на объектах ТЭК в составе автоматизированной системы поддержки управления // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 12. — С. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.19-26.
9. *Zhong R. Y., Xu X., Klotz E., Newman S. T.* Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0 : A review // *Engineering*. — 2017. — Vol. 3, No. 5. — P. 616–630. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.05.015.
10. *Vaidya S., Ambad P., Bhosle S.* Industry 4.0 — A glimpse // *Procedia Manufacturing*. — 2018. — Vol. 20. — P. 233–238. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
11. *Qi Q., Tao F.* Digital twin and big data towards smart manufacturing and Industry 4.0 : 360 degree comparison // *IEEE Access*. — 2018. — Vol. 6. — P. 3585–3593. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793265.
12. *Petrusch R., Hentschke R.* Process modeling for Industry 4.0 applications: Towards an Industry 4.0 process modeling language and method // *13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)* (13–15 July 2016, Khon Kaen, Thailand). — IEEE, 2016. — P. 1–5. DOI: 10.1109/JCSSE.2016.7748885.
13. *Zeulka F., Marcon P., Vesely I., Sajdl O.* Industry 4.0 — An introduction in the phenomenon // *IFAC-PapersOnLine*. — 2016. — Vol. 49, No. 25. — P. 8–12. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.12.002.
14. *Saaty T.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. — М. : Радио и связь, 1993. — 278 с.
15. *Saaty T. L.* Decision making with the analytic hierarchy process // *International Journal of Services Sciences*. — 2008. — Vol. 1, No. 1. — P. 83–98. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
16. *Антонов А. В.* Системный анализ : учеб. для вузов. — М. : Высшая школа, 2004. — 454 с.
17. *Бутузов С. Ю., Крючков А. В., Самарин И. В.* Устойчивость программного обеспечения в автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2018. — № 9. — С. 50–54.
18. *Крючков А. В.* Спецификации требований к специальному программному обеспечению в виде паспорта информационной единицы хранения // *Технологии техносферной безопасности*. — 2015. — № 6(64). — С. 175–180.
19. *Топольский Н. Г., Крючков А. В., Грачев Д. С., Михайлов К. А., Нгуен Ле Зуи.* Синтез типовых программных модулей автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // *Технологии техносферной безопасности*. — 2017. — № 6(76). — С. 56–64.
20. *Самарин И. В., Строгонов А. Ю.* Модель оценки пожарной безопасности на объектах топливно-энергетического комплекса с помощью их временных характеристик на графах стратегического планирования в составе автоматизированной системы поддержки управления // *Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина*. — 2018. — № 4(293). — С. 143–154.

21. Самарин И. В. Формализация задачи обоснования среднесрочного плана деятельности для построения автоматизированной системы управления стратегического планирования на предприятии // *Инновации и инвестиции*. — 2014. — № 4. — С. 177–183.
22. Самарин И. В., Фомин А. Н. Стратегическое планирование на предприятии: применение метода анализа иерархий для анализа системы целевых установок // *Инновации и инвестиции*. — 2014. — № 6. — С. 132–141.

REFERENCES

1. S. Antonsen, K. Skarholt, A. J. Ringstad. The role of standardization in safety management — A case study of a major oil & gas company. *Safety Science*, 2012, vol. 50, no. 10, pp. 2001–2009. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.11.001.
2. S. M. Dawoud. Fire protection in the petroleum industry. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition (11–14 November, 2007, Anaheim, California, USA)*. DOI: 10.2118/110521-ms.
3. Pettey Christy. *Prepare for the impact of digital twins*. September 18, 2017. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/> (Accessed 16 February 2019).
4. Center for Strategic Assessment and Forecasts. “*Digital doubles*” as the new object of protection in the conditions of formation of the digital economy. 15 June 2018. Available at: <http://csef.ru/en/politica-i-geopolitica/445/czifrovye-dvojniki-kak-novyy-obekt-zashhity-v-usloviyah-formirovaniya-czifrovoy-ekonomiki-8520> (Accessed 10 February 2019).
5. J. Prakash. *Digital twins define oil & gas 4.0*. Available at: <https://www.arcweb.com/blog/digital-twins-define-oil-gas-40> (Accessed 16 February 2019).
6. L. Thames, D. Schaefer (eds). *Cybersecurity for Industry 4.0*. Cham, Springer International Publishing AG, 2017. 265 p. DOI: 10.1007/978-3-319-50660-9.
7. *Passport of the national program “Digital economy of the Russian Federation”* (in Russian). Available at: <https://digital-api.ac.gov.ru/upload/iblock/ef4/Паспорт%20нацпрограммы%20с%20сайта%20правительства.pdf> (Accessed 10 February 2019).
8. N. G. Topolskiy, I. V. Samarina, A. Yu. Strogonov. Technique of an assessment of efficiency of management of fire safety at facilities of fuel and energy complex using by computer-aided support control system. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 12, pp. 19–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.19-26.
9. R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz, S. T. Newman. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 2017, vol. 3, no. 5, pp. 616–630. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.05.015.
10. S. Vaidya, P. Ambad, S. Bhosle. Industry 4.0 — A glimpse. *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 20, pp. 233–238. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
11. Q. Qi, F. Tao. Digital twin and big data towards smart manufacturing and Industry 4.0: 360 degree comparison. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 3585–3593. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793265.
12. R. Petrasch, R. Hentschke. Process modeling for Industry 4.0 applications: Towards an Industry 4.0 process modeling language and method. In: *13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE) (13–15 July 2016, Khon Kaen, Thailand)*. IEEE, 2016, pp. 1–5. DOI: 10.1109/JCSSE.2016.7748885.
13. F. Zezulka, P. Marcon, I. Vesely, O. Sajdl. Industry 4.0 — An introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, 2016, vol. 49, no. 25, pp. 8–12. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.12.002.
14. T. L. Saaty. *The analytic hierarchy process*. New York, McGraw-Hill, 1980 (Russ. ed.: *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy*. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1993. 278 p.).
15. T. L. Saaty. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 2008, vol. 1, no. 1., pp. 83–98. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
16. A. V. Antonov. *Sistemnyy analiz* [System analysis]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 454 p. (in Russian).
17. S. Yu. Butuzov, A. V. Kryuchkov, I. V. Samarina. The stability of the software in the automated system of fire and explosion. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskkiye nauki / Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2018, no. 9, pp. 50–54 (in Russian).
18. A. V. Kruchkov. Specifications requirements for special software as information storage unit passport. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 6(64), pp. 175–180 (in Russian).
19. N. G. Topolskiy, A. V. Kruchkov, D. S. Grachev, K. A. Mikhaylov, Nguyen Le Zuy. Synthesis of typical software modules for computer-aided fire-explosion safety system. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2017, no. 6(76), pp. 56–64 (in Russian).

20. I. V. Samarin, A. Yu. Strogonov. Model of evaluation of fire safety at fuel and energy complex facilities using temporal characteristics from graphs of strategic planning using automated control system. *Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I. M. Gubkina / Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2018, no. 4(293), pp. 143–154 (in Russian).
21. I. V. Samarin. Formalization of the problem of the justification of the medium-term action plan to build the automated control system of strategic planning at the enterprise. *Innovatsii i investitsii / Innovation and Investment*, 2014, no. 4, pp. 177–183 (in Russian).
22. I. V. Samarin, A. N. Fomin. Strategic planning at the enterprise: application of a method of the analysis of hierarchies to analyze target system installations. *Innovatsii i investitsii / Innovation and Investment*, 2014, no. 6, pp. 132–141 (in Russian).

Поступила 20.02.2019; после доработки 15.04.2019; принята к публикации 23.04.2019
Received 20 February 2019; received in revised form 15 April 2019; accepted 23 April 2019

Информация об авторах

ТОПОЛЬСКИЙ Николай Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-0921-4764, Scopus Author ID: 6602393869, e-mail: ntopolskii@mail.ru

САМАРИН Илья Вадимович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-2430-5311, e-mail: ivs@gubkin.ru

СТРОГОНОВ Андрей Юрьевич, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-7994-5987

Кйеу Туан Ань, сотрудник отдела организации научных исследований, Институт пожарной безопасности Министерства общественной безопасности Вьетнама, г. Ханой, Вьетнам; адъюнкт кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-8770-8543

Information about the authors

Nikolay G. TOPOLSKIY, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0921-4764, Scopus Author ID: 6602393869, e-mail: ntopolskii@mail.ru

Ilya V. SAMARIN, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Assistant Professor of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2430-5311, e-mail: ivs@gubkin.ru

Andrey Yu. STROGONOV, Postgraduate Student of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7994-5987

Kieu Tuan Anh, Employee of Research Organization Office, Institute of Fire Safety, Vietnam Ministry of Public Security, Hanoi, Vietnam; Adjunct of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8770-8543