Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

И. В. САМАРИН, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1; e-mail: ivs@gubkin.ru)

А. Ю. СТРОГОНОВ, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1)

УДК 681.5

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АСУТП С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАГНОСТИКИ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬЮ

Изучены особенности оценки оборудования первого уровня автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) как составных частей цепочки обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) с учетом плановых стабилизирующих процедур в особых условиях. Представлено обоснование выбора критерия оценки надежности работы извещателей АСУТП. При построении математической модели оценки надежности автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности на объекте ТЭК выбран интегральный показатель качества. Описан способ оценки надежности с использованием вектора целей планирования. Дана характеристика четырем локальным показателям качества. Рассмотрен пример анализа ресурсного показателя. Обосновано применение инструментария стратегического планирования для достижения поставленной в статье задачи.

Ключевые слова: автоматизация; датчики; стабилизирующие процедуры; цифровой двойник; показатели качества; оценка надежности; математическая модель; стратегическое планирование.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22

Введение

Объекты топливно-энергетического комплекса (ТЭК) являются составной частью экономики страны. Они выполняют одну из важнейших ее функций — обеспечение предприятий и организаций РФ топливом и продуктами переработки нефти и газа. Одним из основных материалов, перерабатываемых на них, являются легковоспламеняющиеся вещества, создающие реальную угрозу возникновения пожаров и взрывов. Для предотвращения опасных событий, связанных с подобными проявлениями, на объектах ТЭК предпринимаются меры безопасности [1]. Комплекс таких мер, в том числе мероприятий по предотвращению пожаров и взрывов, и определяет состояние комплексной безопасности на данных объектах [2].

В связи с интенсификацией технологических процессов на объектах ТЭК, вызванных обострением конкуренции, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) требуют не только постоянного обновления, но и своевременной диагностики уже установленного оборудования, что увеличивает нагрузку на персонал. В этих условиях вырастает риск невынужденных ошибок персонала и связанных с ними событий по неправильной или несвоевременной диагностике оборудования АСУТП, отвечающего за контроль процессов пожарной безопасности.

Принято считать, что наиболее эффективным средством контроля и работы по защите объектов от пожаров и взрывов в АСУТП является автома-

© *Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю., 2018*

тизированная система пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) [3]. Ее применение обеспечивает высокий уровень контроля технологического оборудования в ходе производственных процессов.

Целью статьи является построение математической модели оценки комплексной безопасности объектов ТЭК в АСУТП. Оценка выполняется в особых условиях проведения мероприятий по предупреждению пожаров, а именно проверки извещателей (датчиков). Решение поставленной задачи начинается с выбора функции оценки как зависимости извещателя от вектора целей управления объектом ТЭК. Введен интегральный показатель качества обеспечения надежности АСУТП как сумма соответствующих локальных показателей. При моделировании оценка надежности работы АСПВБ на объекте ТЭК осуществляется путем диагностики с использованием вектора целей планирования.

Методы исследования

Диагностические мероприятия по предупреждению пожаров на объектах ТЭК включают в себя следующие профилактические меры [4]:

- периодические проверки состояния пожарной безопасности объекта ТЭК в целом и его отдельных участков, а также обеспечение контроля за своевременным выполнением этих мероприятий;
- проведение пожарно-технических обследований объекта ТЭК представителями Государственного пожарного надзора с вручением предписаний; установление действенного контроля за выполнением выданных предписаний и приказов руководителя объекта ТЭК, изданных по ним;
- постоянный контроль над проведением пожароопасных работ, выполнением противопожарных требований на объекте ТЭК;
- проведение инструктажей и специальных занятий с рабочими и служащими объекта ТЭК по вопросам пожарной безопасности и других мероприятий по противопожарной пропаганде и агитации;
- проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах;
- установку в цехах, мастерских, на складах и отдельных агрегатах систем пожарной автоматики.

При этом периодичность проверки готовности оборудования к пожарам на объекте ТЭК должна быть не реже 1 раза в квартал [5]. Планирование ресурсов для таких проверок осуществляется по заявкам обслуживающего персонала.

Ежемесячно ответственным персоналом объекта ТЭК должен также проводиться визуальный контроль давления в модуле газоанализатора (датчика) по показаниям манометра модуля. Наблюдаемая отметка давления должна находиться в пределах затемненного поля для заданного значения температуры окружающей среды. Если она лежит ниже этой границы, модули датчика подлежат перезарядке. Результаты проверки фиксируют в специальном журнале.

Кроме того, 1 раз в 6 месяцев проводят:

- внешний осмотр и контроль составных частей установок (технологической части — трубопроводов, распылителей, рукавов, баллонов с огнетушащим веществом, манометров и распределительных устройств) на отсутствие механических повреждений, грязи, прочность крепления, наличие пломб;
- контроль рабочего положения основной и резервной запорной арматуры на составных частях установок.

Результаты проверки фиксируют в специальном журнале.

В состав ежегодных контрольных и планируемых мероприятий по предупреждению пожаров входят:

1) метрологическая поверка манометров. Для этого их извлекают из мест установки и отправляют в контрольно-измерительную лабораторию на поверку, после чего возвращают на место, предварительно проверив его;

2) метрологическая поверка манометров на всех объектах защиты (ОЗ), входящих в состав объекта ТЭК;

3) измерение сопротивления изоляции электрических цепей на противопожарном оборудовании и датчиках;

4) замена составных частей модулей датчиков, имеющих ограниченные сроки эксплуатации, если установлены факты несоответствия поступающей от них информации реальному состоянию среды.

Стоимость всех перечисленных работ в зависимости от размеров объекта ТЭК и объемов его помещений может меняться.

Теперь разберем подробнее ограничения особых условий и попробуем отразить это в критериях оценки диагностических мероприятий и мероприятий по повышению уровня комплексной (в том числе пожарной) безопасности. Согласно [6] износ изначально поставленного технологического оборудования на многих объектах ТЭК должен составлять не менее 80–100 % из-за большого срока эксплуатации. Некоторые узлы, устаревшие и физически, и морально, требуют либо замены, либо коренной модернизации. В этом смысле цифровые двойники не оставляют выбора руководителям объекта ТЭК [7]. Такие узлы меняют на импортное оборудование: датчики загазованности Draeger [8], отсечные клапаны Emerson, многокомпонентные анализаторы Modcon.

Кроме указанных узлов зарубежного производства, в настоящее время на объектах ТЭК применяются импортные системы контроля, диагностики и обеспечения пожарной безопасности [9, 10]. Во многом это обусловлено использованием в качестве АСУТП иностранных программных реализаций отдельных элементов технологического оборудования. Цифровые двойники, помимо ряда существенных преимуществ [11], имеют и недостатки [12]. Главный из них состоит в том, что их внедрение делает производственный процесс на объектах ТЭК фактически зависимым от иностранных технологий. Следовательно, применение к объектам ТЭК особых условий при использовании достижений "Индустрии 4.0" приведет к серьезным затруднениям в обеспечении как самого производственного процесса, так и комплексной безопасности объекта ТЭК.

Перечисленные противопожарные и профилактические мероприятия на объекте ТЭК призваны проиллюстрировать реальные цели плановых мероприятий по повышению надежности работы АСПВБ в АСУТП при диагностировании оборудования. Будем называть их стабилизирующими процедурами.

Рассмотрим с математической точки зрения модель обеспечения комплексной безопасности в АСУТП объектов ТЭК с учетом диагностики пожарных извещателей в особых условиях. Именно пожарные извещатели (датчики) могут быть наиболее чувствительным местом всей цепочки обеспечения безопасности [13, 14]. В связи с этим для определения зависимости их работы от стабилизирующих процедур (диагностики, поверок, ремонта, замены и т. п.) имеет смысл рассматривать функцию оценки отдельным выбранным датчиком состояния среды как его зависимость от вектора целей управления объектом ТЭК:

$$I_i = f_i(P), \tag{1}$$

где I_i — значение i-го извещателя с заданным порогом срабатывания;

P — вектор целей планирования (обеспечения достоверности информации) при управлении комплексной безопасностью объекта ТЭК; $P = \{P_1, P_2, \ldots, P_K\}$.

Обстоятельства срабатывания датчиков зависят от стабилизирующих процедур и от времени их работы, поэтому формулу (1) следует переписать в виде

$$I_i = f_i(P_1(t_i^2), t_i^2, P_3(t_i^2)), \tag{2}$$

где t_i^2 — время работы датчиков;

$P_1(t_i^2)$ — цели планирования стабилизирующих процедур, продлевающих время работы датчиков;

$P_3(t_i^2)$ — цели планирования стабилизирующих процедур, обеспечивающих их надежное срабатывание.

Оба направления работ персонала АСУТП подразумевают выполнение мероприятий, входящих в пересекающиеся, но несовпадающие множества. При их объединении в едином плановом задании по обеспечению надежности информации первого уровня в АСУТП [15] получаем:

$$I_i = f_i(P_i(t), t). \tag{3}$$

Так как функция $f_i(P_i(t), t)$ представляет собой кривую, для критерия оценки надежности работы первого уровня АСУТП в j-м кластере можно определить локальный показатель качества w_j^P для j-го кластера защиты:

$$w_j^P = \sum_{i=1}^{N_j} \int f_i(P_i(t), t)\,\mathrm{d}t, \quad j \in \{1, 2, \ldots, M\}, \tag{4}$$

где N_j — число мероприятий согласно планам достижения j-й цели;

M — число рассматриваемых кластеров, объединяющих датчики для заданного элемента (группы помещений, здания, сооружения) объекта ТЭК.

Интегральный показатель качества для объекта защиты ТЭК $W_{\text{ОЗ}}^P$ задается вектором

$$W_{\text{ОЗ}}^P = \{w_1^P, w_2^P, \ldots, w_M^P\}, \tag{5}$$

в котором w_i^P рассчитываются по формуле (4).

Формула (3) устанавливает функциональную зависимость работы датчика от целей плановых мероприятий. При этом сама функция целей имеет более сложный характер, чем указано в экспликации к (1).

Рассмотрим способ оценки надежности работы АСПВБ на объекте ТЭК путем диагностики с использованием вектора целей планирования:

$$P = \{V, F, R, W\}, \tag{6}$$

где V — общий потребный объем проводимых мероприятий, измеряемый в условных единицах (одно мероприятие — одна единица объема);

F — общее финансирование мероприятий в достижении целей, запланированных для повышения надежности АСПВБ;

R — общие запланированные для проведения мероприятий ресурсы, необходимые для гарантированного достижения поставленных целей повышения надежности АСПВБ;

W — общие затраты трудовых ресурсов в нормочасах, необходимые для гарантированного достижения запланированных целей повышения надежности АСПВБ.

Поскольку весь комплекс необходимых мероприятий комплексной безопасности на объекте ТЭК представляет собой многоуровневое дерево, во избежание загромождения модели оценки рассмотрим только их простую сумму [16]. Тогда общий потреб-

ный объем проводимых мероприятий, измеряемый в условных единицах, будет иметь вид:

$$V = \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{N_j} m_i, \quad (7)$$

где K — число целей планирования (обеспечения достоверности информации) при управлении комплексной безопасностью на нефтеперерабатывающих производствах (НПП);

m_i — единичное мероприятие согласно планам достижения j-й цели;

$$m_i = \begin{cases} 0, \text{ не выполнено;} \\ 1, \text{ выполнено.} \end{cases} \quad (8)$$

Общее финансирование запланированных целей повышения надежности АСПВБ можно представить в виде

$$F = \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{N_j} F_i, \quad (9)$$

где F_i — финансирование единичного мероприятия согласно планам для достижения j-й цели;

$$F_i = \begin{cases} 0, \text{ отсутствует;} \\ F_i, \text{ запланировано.} \end{cases} \quad (10)$$

Общие запланированные для проведения мероприятий ресурсы, необходимые для гарантированного достижения поставленных целей повышения надежности АСПВБ, представим в виде

$$R = \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{N_j} R_i, \quad (11)$$

где R_i — ресурсы, выделенные для обеспечения выполнения единичного мероприятия согласно планам для достижения j-й цели;

$$R_i = \begin{cases} 0, \text{ отсутствуют;} \\ R_i, \text{ запланированы.} \end{cases} \quad (12)$$

Общие затраты трудовых ресурсов в нормочасах, необходимые для гарантированного достижения запланированных целей повышения надежности АСПВБ, можно определить как

$$W = \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{N_j} W_i, \quad (13)$$

где W_i — нормочасы, предусмотренные для выполнения единичного мероприятия согласно планам для достижения j-й цели;

$$W_i = \begin{cases} 0, \text{ не предусмотрены;} \\ W_i, \text{ запланированы.} \end{cases} \quad (14)$$

В случае если мероприятия по обеспечению надежности АСУТП и ее диагностирование на первом уровне получения информации согласно целям планирования будут выражены в таком виде, то локальные показатели качества можно рассматривать в виде сумм (7), (9), (11) и (13). В этом случае интегральный показатель качества обеспечения надежности и иных задач АСУТП будет представлен в виде суммы соответствующих локальных показателей. В этом безразмерном контейнере данных будут учтены все необходимые для выполнения мероприятий показатели. Однако использовать его в качестве оценки можно только в теоретическом плане, так как финансирование и ресурсы будут давать львиную долю его значения.

Анализ результатов

Правильнее было бы рассматривать приведенные локальные показатели отдельно, поэтому для вывода об особых условиях эксплуатации оборудования и систем обеспечения объектов ТЭК, входящих в АСУТП, рассмотрим только ресурсный показатель качества.

Предположим, что на объекте ТЭК используется 40 % отечественных датчиков и 60 % датчиков зарубежного производства. Предположим также, что их эксплуатация требует соответствующего технического обслуживания (ТО), без которого они начинают работать некачественно (порог среды слишком сильно расходится с порогом срабатывания). При этом импортные датчики обслуживаются только иностранным производителем. В особых условиях, как было сказано выше, мероприятия по финансированию и любым иным действиям прекращаются. Следовательно, величина соответствующих R_i стремится к 0.

В этом случае коэффициент сокращения ресурсов r, доступных лицу, принимающему решения (ЛПР), для обеспечения безопасности в АСПВБ и надежности в АСУТП в особых условиях можно представить формулой

$$r = R_{\text{ос}} / R_{\text{об}}, \quad (15)$$

где $R_{\text{ос}}$, $R_{\text{об}}$ — локальные показатели качества по формуле (11) соответственно при особых и обычных условиях.

Для упрощения расчета будем полагать, что в состав используемых ресурсов входят датчики (газоанализаторы, пожарные извещатели), приборы их поверки и комплектующие, используемые в ремонте. Исходя из того, что и эти ресурсы имеют иностранное происхождение, будем считать, что все датчики, используемые в цифровых двойниках, импортные.

Тогда, предполагая, что запланированные ресурсы R_i отечественного производства не изменятся при переходе от обычных условий к особым, из (15) видим, что значение $R_{\text{ос}}$ в числителе будет по ряду по-

зиций составлять только 40 % от значения $R_{об}$ в знаменателе. Из этого можно сделать однозначный вывод, что особые условия значительно снижают показатели надежности и качества информирования ЛПР в АСУТП на объекте ТЭК. Это снижение пропорционально количеству применяемых в соответствующих системах единиц оборудования импортного производства.

Отчасти это положение можно преодолеть планированием дополнительных финансовых и трудовых ресурсов. Тогда на дополнительные финансовые ресурсы может быть закуплено (или разработано) и установлено соответствующее оборудование, исходя из запланированных дополнительных трудовых ресурсов.

Такое положение с учетом общего времени проведения работ можно закрепить путем обоснованного стратегического планирования [17], агрегатной целью которого будет повышение надежности и живучести АСУТП в особых условиях. Следовательно, инструментарий стратегического планирования, включаемый в общий пакет возможностей поддержки управления ЛПР в качестве информационно-аналитической системы [18–20], будет способствовать достижению данной цели, а значит, и решению проблемы обеспечения комплексной безопасности в АСУТП (ее живучести и надежности) на объектах ТЭК в особых условиях [21, 22]. Следует также отметить не рассмотренную в настоящей статье трудоемкую задачу определения объема мониторинга систем безопасности и противопожарной защиты. В работе [23] утверждается, что формирование объема мониторинга следует проводить с учетом экспертных оценок специалистов, вовлеченных в процесс работы данных систем. В предлагаемых методах стратегического планирования [17] рассмотрены способы анализа и сопряжения оценок экспертов для достижения поставленных целей. Такой инструмент будет полезен при возникновении необходимости расчета объема мониторинга требуемых систем.

Заключение

Таким образом, инструменты методологии стратегического планирования [18–20], включаемые в подсистемы АСПВБ в качестве алгоритмов поддержки управления, позволят повысить надежность работы АСУТП на объектах ТЭК и обеспечить качественное диагностирование оборудования первого звена информирования ЛПР. Методы поддержки управления в АСУТП с использованием аппарата стратегического планирования обеспечат необходимое качество информации ЛПР и уровень надежности АСУТП в особых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Смирнов А. В., Хабибулин Р. Ш., Тараканов Д. В.* Применение многоагентного подхода для поддержки управления безопасностью в техносфере // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2018. — Т. 22, № 1(132). — С. 118–133. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.
3. *Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В.* Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
4. РД 153-34.0-03.301–00 (ВППБ 01-02–95). Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. — 128 с.
5. О противопожарном режиме : постановление Правительства Российской Федерации от 25.04.2012 № 390 (ред. от 30.12.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/ (дата обращения: 07.09.2018).
6. Проектирование НПЗ. URL: http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/ (дата обращения: 07.09.2018).
7. *Prakash J.* Digital twins define oil & gas 4.0. URL: https://www.arcweb.com/blog/digital-twins-define-oil-gas-40 (дата обращения: 10.09.2018).
8. *Aleixandre M., Gerboles M.* Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas // Chemical Engineering Transactions. — 2012. — Vol. 30. — P. 169–174. DOI: 10.3303/CET1230029.
9. IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry. — May 2015. — Vol. 15. — 167 p. URL: http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf (дата обращения: 13.09.2018).
10. Construction Health and Safety Manual: Oil Refineries and Petrochemical Plants. URL: https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf (дата обращения: 13.09.2018).
11. *Альгин В. Б., Ишин Н. Н.* Надежность технически сложных изделий в свете “Индустрии 4.0” // Актуальные вопросы машиноведения. — 2017. — Т. 6. — С. 43–54.

12. *Ромашкова И. А., Лосаберидзе Т. Л.* Реализация концепции “цифрового двойника” в российском производстве как этап перехода к четвертой промышленной революции // Постулат. — 2018. — № 5-1(31). — С. 139.
13. *Самарин И. В.* Модель оценки обеспечения комплексной безопасности на рассредоточенном объекте защиты в обычных условиях при помощи булевых извещателей в АСУП без учета координат для построения автоматизированной системы управления формированием плана мероприятий по защите объектов ТЭК // Естественные и технические науки. — 2018. — Вып. 8(122). — С. 180–186.
14. *Bogue R.* Sensors for fire detection // Sensor Review. — 2013. — Vol. 33, No. 2. — P. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
15. *Андреев Е. Б., Ключников А. И., Кротов А. В., Попадько В. Е., Шарова И. Я.* Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа : учебное пособие для вузов. — М. : Недра-Бизнесцентр, 2008. — 399 с.
16. *Сухарев М. Г., Арсеньев-Образцов С. С., Жукова Т. М.* Основы математического и компьютерного моделирования в задачах нефтегазового комплекса : учебное пособие для вузов. — М. : МАКС Пресс, 2010. — 120 с.
17. *Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P.* Russian simulation for strategic planning // Fire International. — 1996. — No. 154. — P. 32–33.
18. *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.
19. *Самарин И. В.* АСУ стратегического планирования на предприятии: уточнение методологических и инструментальных основ схемы планирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2017. — № 2. — С. 31–44.
20. *Самарин И. В.* Стратегическое планирование: модифицированный метод парных сравнений для задач высокой размерности // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. — 2016. — № 1/282. — С. 121–134.
21. *Beata P. A., Jeffers A. E., Kamat V. R.* Real-time fire monitoring and visualization for the post-ignition fire state in a building // *Fire Technology*. — 2018. — Vol. 54, Issue 4. — P. 995–1027. DOI: 10.1007/s10694-018-0723-1.
22. *Novak T., Gerstinger A.* Safety- and security-critical services in building automation and control systems // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. — 2010. — Vol. 57, No. 11. — P. 3614–3621. DOI: 10.1109/tie.2009.2028364.
23. *Steblev Yu. I., Susarev S. V., Bykov D. E.* The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2015. — Vol. 51, No. 4. — P. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.

Материал поступил в редакцию 20 октября 2018 г.

Для цитирования: *Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю.* Модель оценки обеспечения комплексной безопасности в АСУТП с применением диагностики пожарных извещателей для построения автоматизированной системы поддержки управления пожаровзрывобезопасностью // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 15–22. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22.

English

MODEL OF EVALUATION OF COMPREHENSIVE SAFETY IN THE APCS WITH THE USE OF DIAGNOSTIC FIRE DETECTORS FOR THE CONSTRUCTION OF AUTOMATED SYSTEMS OF SUPPORT OF MANAGEMENT OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY

N. G. TOPOLSKIY, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

I. V. SAMARIN, Candidate of Technical Sciences, Docent, Assistant Professor of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: ivs@gubkin.ru)

A. Yu. STROGONOV, Postgraduate Student of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Beginning this paper considers the important measures determining the state of integrated security of facilities of the fuel and energy complex. It says about necessity regular equipment diagnostics of automated process control system (APCS). There is a serious risk of unforced human error. So it says about special automated systems of fire and explosion safety such as means of control of APCS. It is necessary to keep in mind that automated system of fire and explosion protection (ASFEP) is a part automated control system of technological process. The study aims to build a mathematical model of comprehensive safety of objects of fuel and energy complex in APCS. A special evaluation function was chosen. This function is the dependence of the detector on the vector of controlling purposes. The method of assessing the reliability of ASFEP is described using the vector of planning purposes.

Methodology. Diagnostic fire prevention events are described. Besides their specificities and frequency are mentioned. It was agreed that implementing of digital twin depend to foreign technologies significantly. This fact actually affects of a sustainability of manufacturing process at facilities of the fuel and energy complex. To study the integrated security in the APCS a mathematical model was built. A detector is an important object constructed model. The corresponding function is formed for connection of detectors operation with stabilizing procedures. The criteria for assessing the reliability of the equipment of the first level of APCS were determined. The local and integral quality indicators are presented. In addition the vector of planning purposes is considered for assessing the reliability of automated system of fire and explosion protection.

Results. It is important to analyze the local indicators separately. As an example the resource indicator of quality is described. This example leads to an important conclusion about special conditions of functioning of the equipment. The possibility of using the methodology of strategic planning as a part of information and analytical system for increase of reliability and survivability of APCS is shown.

Conclusion. The paper concludes that the tools of strategic planning as a subsystems of automated system of fire and explosion protection are able to provide the necessary diagnostics of the equipment of the first level of informing the decision-maker.

Keywords: automation; detectors; stabilizing procedures; digital twin; quality indicators; assessing the reliability; mathematical model; strategic planning**.**

REFERENCES

1. S. M. Dawoud. Fire protection in the petroleum industry. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition (11–14 November*, *2007*, *Anaheim*, *California*, *USA).* DOI: 10.2118/110521-ms.
2. A. V. Smirnov, R. Sh. Habibulin, D. V. Tarakanov. Use of multi-agent approach for technosphere safety management support. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 118–133 (in Russian). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.
3. A. A. Abrosimov, N. G. Topolskiy, A. V. Fedorov. Avtomatizirovannyye systemy *pozharovzryvobezopasnosti neftepererabatyvayushchikh proizvodstv* [Computer-aided fire and explosion safety systems of petroleum refineries]. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p. (in Russian).
4. RD 153-34.0-03.301-00 (VPPB 01-02–95). *Fire safety regulations for energy companies*. Moscow, NTs ENAS Publ., 2004. 128 p. (in Russian).
5. *About fire prevention standard*. Russian Federation Government Resolution on 25 April 2012 No. 390 (ed. 30 December 2017) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/ (Accessed 7 September 2018).

6. *The design of refinery* (in Russian). Available at: http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/ (Accessed 7 September 2018).
7. J. Prakash. *Digital twins define oil & gas 4.0.* Available at: https://www.arcweb.com/blog/digital-twins-define-oil-gas-40 (Accessed 10 September 2018).
8. M. Aleixandre, M. Gerboles. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas. *Chemical Engineering Transactions*, 2012, vol. 30, pp. 169–174. DOI: 10.3303/CET1230029.
9. *IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry*. May 2015, vol. 15. 167 p. Available at: http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf (Accessed 13 September 2018).
10. *Construction Health and Safety Manual: Oil Refineries and Petrochemical Plants*. Available at: https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf (Accessed 13 September 2018).
11. V. B. Algin, N. N. Ishin. Reliability of technically complicated items in terms of "Industry 4.0". Aktualnyye voprosy mashinovedeniya. *Topical Issues of Mechanical Engineering*, 2017, vol. 6, pp. 43–54 (in Russian).
12. I. A. Romashkova, T. L. Losaberidze. The implementation of the concept "digital twin" in the Russian production as the transition to the fourth industrial revolution. *Postulat / Postulate*, 2018, no. 5-1(31), p. 139 (in Russian).
13. I. V. Samarin. The model of assessment of integrated complex safety in dispersed OS under normal conditions using Boolean detectors in a process control system without given coordinates for building of automated control system of formation of the plan of measures for the protection of facilities of the fuel and energy complex. *Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki / Natural and Technical Sciences*, 2018, no. 8(122), pp. 180–186 (in Russian).
14. R. Bogue. Sensors for fire detection. *Sensor Review*, 2013, vol. 33, no. 2, pp. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
15. E. B. Andreev, A. I. Klyuchnikov, A. V. Krotov, V. E. Popadko, I. Ya. Sharova. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov dobychi i podgotovki nefti i gaza* [Automation of technological processes of oil and gas production and treatment]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2008. 399 p. (in Russian).
16. M. G. Sukharev, S. S. Arsenev-Obraztsov, T. M. Zhukova. *Osnovy matematicheskogo i kompyuternogo modelirovaniya v zadachakh neftegazovogo kompleksa* [Fundamentals of mathematical and computer modeling in the problems of oil and gas complex]. Moscow, MAKS Press Publ., 2010. 120 p. (in Russian).
17. E. M. Alekhin, N. N. Brushlinsky, S. V. Sokolov, P. Wagner. Russian simulation for strategic planning. *Fire International*, 1996, no. 154, pp. 32–33.
18. 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).
19. I. V. Samarin. ACS strategic planning at the enterprise: refinement of methodological and instrumental basics of planning schemes. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki / Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Science*, 2017, no. 2, pp. 31–44 (in Russian).
20. I. V. Samarin. Strategic planning: modified method of pair comparisons for problems of high dimension. *Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I. M. Gubkina / Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2016, no. 1/282, pp. 121–134 (in Russian).
21. P. A. Beata, A. E. Jeffers, V. R. Kamat. Real-time fire monitoring and visualization for the post-ignition fire state in a building. Fire Technology, 2018, vol. 54, issue 4, pp. 995–1027. DOI: 10.1007/s10694-018-0723-1.
22. T. Novak, A. Gerstinger. Safety- and security-critical services in building automation and control systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, vol. 57, no. 11, pp. 3614–3621. DOI: 10.1109/tie.2009.2028364.
23. Yu. I. Steblev, S. V. Susarev, D. E. Bykov. The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.

For citation: Topolskiy N. G., Samarin I. V., Strogonov A. Yu. Model of evaluation of comprehensive safety in the APCS with the use of diagnostic fire detectors for the construction of automated systems of support of management of fire and explosion safety. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 15–22 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22.