

Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях

© Н. Г. Топольский¹, И. В. Самарин² (✉), А. Ю. Строгонов²

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)

РЕЗЮМЕ

Введение. Обоснована необходимость получения лицами, принимающими решения (ЛПР), полной информации о готовности к работе оборудования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) первого уровня информирования в любой момент времени. Данные о предожарном состоянии на объекте топливно-энергетического комплекса (ТЭК) передаются с помощью элементов управления автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) в составе АСУТП. Показана связь определения состояния готовности оборудования АСПВБ со степенью выполнения профилактических работ. Целью исследования является получение научно обоснованного инструмента определения готовности оборудования АСПВБ к функционированию.

Методы исследования. Для решения задачи выбрана модель шестиуровневого графа стратегического планирования, который предлагается ЛПР для использования в целях оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня к работе. В основе иерархии лежит реализация планов по обслуживанию, ремонту и замене оборудования. С помощью метода последовательных приращений смоделированы проверочные мероприятия и восстанавливающие процедуры. Предложены две задачи математического программирования — линейная и нелинейная. В первом случае получена новая форма целевой функции с учетом максимальной эффективности деятельности по выполнению планов. В нелинейной постановке в разных формах рассмотрена функция поиска критерия для оценки максимальной эффективности. Оптимальные решения задач представляют собой вывод об использовании некоторого ресурса для одного определенного мероприятия.

Результаты исследования. Сделан вывод о целесообразности использования всего ресурса для конкретного мероприятия. При решении задачи оптимизации в нелинейной постановке отмечена динамичность параметров вектора плановых работ по приведению источников информации первого уровня АСПВБ в требуемое состояние, а также вектора интенсивности проведения работ. В итоге предложена формула интегральной готовности к функционированию оборудования АСПВБ для определенного количества восстанавливающих мероприятий.

Заключение. Получен метод оценки эффективности восстанавливающих мероприятий для АСПВБ с учетом ограниченного особыми условиями ресурса. Применение метода позволяет дежурным сменам объекта ТЭК оперативно реагировать на предожарные ситуации.

Ключевые слова: автоматизация; пожарная безопасность; автоматизированные системы управления технологическими процессами; автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности; топливно-энергетический комплекс; интегральный показатель; анализ; иерархия; состояние готовности; стратегическое планирование; значимость; пожары; взрывы.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю. Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 35–46. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.35-46.

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

Введение

Объекты топливно-энергетического комплекса (ТЭК) являются постоянным источником угрозы безопасности, в том числе пожарной, окружающей среды. В связи с этим немаловажной задачей является прогнозирование готовности пожарной техники к выполнению своих функций [1]. Однако, обладая стратегической значимостью, предприятия топливной промышленности нуждаются в предварительном планировании и фактическом контроле устойчивого и безопасного функционирования [2, 3]. Крайне важно иметь возможность предупредить и вовремя пред-

отвратить возникновение пожаровзрывоопасной ситуации на объекте ТЭК любого масштаба. Довольно непростую задачу представляет определение объема мониторинга систем безопасности и противопожарной защиты на таких объектах. Согласно [4] определение этого объема необходимо проводить на основе экспертных оценок сотрудников, участвующих в работе данных систем. При наличии ограничений на получение информации оценки могут быть выполнены некорректно. В качестве примера процесса получения подобных оценок можно привести подробный анализ данных [5], полученных от

экспертов-сотрудников различных уровней, работающих на пожароопасных участках объектов нефтегазовой отрасли. Лицам, принимающим решения (ЛПР) на объектах ТЭК, необходима оперативно (в реальном режиме времени) подтверждаемая информация о состоянии готовности к работе и надежности средств и систем пожарной автоматики, газовых пожарных извещателей [6], датчиков состояния среды и других средств оповещения о пожарах или предпожарных режимах [7, 8]. От полноты информации во многом зависит скорость принятия ЛПР верного с точки зрения пожарной безопасности (ПБ) решения [9]. Все указанные источники информации для ЛПР в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) являются информаторами первого уровня. Как правило, на объектах ТЭК в АСУТП встроены автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ). Принципы их работы основаны на своевременном информировании ЛПР о возможных опасных ситуациях [10]. Для выяснения состояния готовности к функционированию оборудования АСПВБ первого уровня необходимо планирование мероприятий по его приведению в состояние готовности в опасных ситуациях. Приоритетной задачей для ЛПР в этом случае является оценка с помощью средств контроля или встроенного специального программного обеспечения АСПВБ [11] степени выполнения тех или иных компонентов указанных планов и возможности проведения и важности отдельных из включенных в них мероприятий. От успешности подобных оценок зависит количество предотвращенных пожаров и взрывов на объектах ТЭК [12].

Проведение на объекте ТЭК профилактических работ ремонтными бригадами для выявления требуемого ремонта или замены оборудования АСПВБ является приоритетной задачей и стратегической целью при оценке степени его готовности к работе. Разнородность такого оборудования и деятельности по его обслуживанию, ремонту и замене имеет второстепенное значение. Основным критерием оценки служит возможное влияние того или иного элемента оборудования информирования АСПВБ первого уровня на стратегическую цель ЛПР по обеспечению ПБ на объекте ТЭК.

Сегодня на многих предприятиях ТЭК используются системы контроля и обеспечения пожарной безопасности зарубежного производства [13, 14]. В [15] утверждается, что 80 % этого рынка занято зарубежными производителями. По объему данной продукции лидирует ЧП «Аргон» (36 %), за ним следуют Beijing PT Security Technology (33 %), Wizmart Technology (11 %). В стоимостном выражении доли, занимаемые производителями на рынке данной продукции, распределяются следующим образом: Bosch — 11 %, Hekatron — 9 %, Honeywell — 8 % [15].

В последнее время из-за санкций на объекты ТЭК возникают трудности с поставками импортного оборудования для АСПВБ, предназначенного для информирования ЛПР, для модернизации АСУТП объектов инфраструктуры. Так, например, при проектировании модернизации одного из объектов ТЭК согласно [16] износ изначально поставленного и незамененного технологического оборудования составил 80–100 %. Отчасти это обусловлено тем, что процесс замены осложняется из-за существенных ограничений на требуемые поставки. В связи с этим следует заметить, что выявление наиболее важных элементов оборудования приобретает колоссальное значение. Условия функционирования объектов ТЭК, при которых существуют ограничения на поставку, своевременную замену и поверку оборудования, будем называть особыми. В случае невозможности проведения отдельных запланированных мероприятий целесообразно разрабатывать новые модели обеспечения ПБ на объектах ТЭК, меняя, например, характер передачи информации внутри объекта или точки монтажа датчиков и извещателей. Хотя последнее представляется не слишком целесообразным, так как может привести к нарушению общей схемы оповещения при пожарах и взрывах.

Целью настоящей статьи является получение обоснованного инструмента оценки эффективности плановых мероприятий по восстановлению оборудования нижнего уровня АСПВБ. Для ее достижения авторами поставлена задача анализа и выявления готовности к работе оборудования по обеспечению пожаровзрывобезопасности автоматизированным образом на объектах ТЭК. Моделирование восстанавливающих мероприятий выполняется методом последовательных приращений при рассмотрении двух задач математического программирования — линейной и нелинейной. Описано получение их оптимальных решений, заключающееся в рекомендации использовать некоторый ресурс для одного определенного мероприятия.

Методы исследования

Для моделирования степени важности отдельных мероприятий при оценке готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня применялось стратегическое планирование [17, 18]. Основным правилом, описанным в [17, 18], является граф стратегического планирования, основанный на иерархии целей, задач, направлений, кластеров, мероприятий и т. п. Его анализ при проведении оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня является основным методом, который следует использовать ЛПР для достижения нужной цели.

Рассмотрим аналог указанного графа. Построим на основе иерархии реализации планов по обслу-

живанию, ремонту и замене указанного оборудования аналогичный граф (см. рисунок). Назовем его графом стратегического планирования для оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня объекта ТЭК. Целью ЛПР и показателем качества для всей группы указанных мероприятий будет являться оценка ЛПР готовности к работе оборудования АСПВБ в автоматизированном режиме.

Максимальной готовностью оборудования автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности будет такое его состояние, при котором любая опасная или потенциально опасная ситуация будет устранена до возникновения опасных последствий. Для этого необходимо иметь ресурсы по приведению оборудования информирования АСУТП первого уровня в наилучшее состояние. Проверки и плановые мероприятия по восстанавливающим процедурам для него могут моделироваться по-разному.

Если использовать для этого метод последовательных приращений [19], то можно рассматривать для определения готовности к работе оборудования АСПВБ как минимум две задачи математического программирования. Первая из них — задача линейного программирования с одним ограничением. Основная мысль — найти максимум аддитивной целевой функции $\psi(x_3)$ для параметров готовности, значения которых могут быть определены планами ремонта, обслуживания, восстановления или замены источников информации первого уровня АСПВБ, при ограничении на заданный вид ресурса b в связи с особыми условиями. При этом будет определен общий интегральный показатель готовности для всего искомого оборудования АСПВБ.

В такой постановке задача может рассматриваться как

$$\psi(x_3) = \max_{\psi} \psi(x) = \max_{\Sigma} \left\{ \sum_{i=1}^u \alpha_i \cdot x_i \right\}; \quad (1)$$

$$g(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i, \quad (2)$$

где x_3 — значение вектора, при котором целевая функция $\psi(x)$ принимает максимальное значение; x — вектор независимых параметров (плановых работ по приведению источников информации первого уровня АСПВБ в “правильное” состояние);

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_u\}; \quad (3)$$

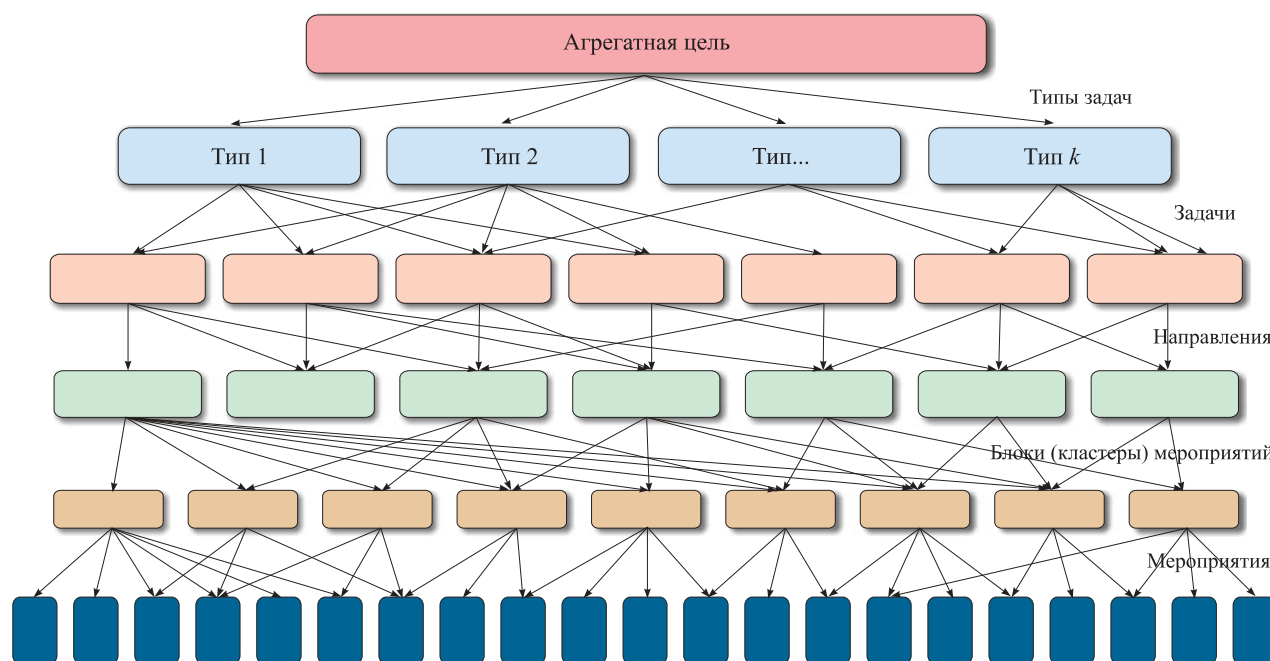
u — число единиц необходимого оборудования; $\alpha_i \geq 0 \forall i = 1, \dots, u$ — коэффициенты важности элементов в цели; определяются в соответствии с построенной решающей матрицей для выбранной в графе стратегического планирования иерархии [20];

$\beta_i > 0 \forall i = 1, \dots, n$ — коэффициенты интенсивности использования ресурсов при проведении работ в соответствии с планами;

x_i — некоторое значение независимого параметра (плановых работ по приведению источников информации первого уровня АСПВБ в “правильное” состояние), соответствующее определенному числу единиц оборудования;

$$g(x) \leq b, b > 0; \quad (4)$$

b — предельно допустимая величина некоторого ресурса с учетом особых условий;



Шестиуровневый граф стратегического планирования для оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня объекта ТЭК

n — общее число мероприятий, проводимых согласно планам (в общем случае u и n не равны, так как в соответствии с графом стратегического планирования для его уровней, которые выше нижнего, также следует предусмотреть значимость; не равны они будут и в том случае, когда запланированные мероприятия будут проведены не в полной мере).

При этом

$$\sum_{i=1}^u \alpha_i = 1; \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1. \tag{6}$$

Условие (2) регулирует загрузку персонала, наличие финансовых или материальных средств с учетом (6) в соответствии с деревом мероприятий, описываемым в планах. При этом считается, что при их реализации ЛПР стремится к достижению поставленной на определенном направлении агрегатной цели (см. рисунок), в данном случае максимальной готовности оборудования АСПВБ к работе в особых условиях.

Максимальная эффективность деятельности в соответствии с планами при решении такой задачи (формулы (1)–(4)) реализуется при равенстве левой и правой частей в (4). В противном случае достижение максимума $\psi(x)$ оставляет остаток ресурса, что дает возможность получать новые приращения любой компоненты x_i , для которой $\alpha_i > 0$, и приращение целевой функции (1), что не укладывается в изначальную формулировку задачи.

Если получить из условия (2) x_i и учесть, что для некоторого k отношение α_k/β_k примет наибольшее значение по сравнению с остальными значениями α_i/β_i , то целевая функция $\psi(x)$ и условие приобретут такой вид [21]:

$$\psi(x) = \frac{\alpha_k}{\beta_k} b + \sum_{i=1}^u \beta_i \left\{ \frac{\alpha_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_k}{\beta_k} \right\} x_i; \tag{7}$$

$$\beta_i \left\{ \frac{\alpha_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_k}{\beta_k} \right\} \leq 0. \tag{8}$$

В этом случае решается задача линейного программирования на безусловный экстремум, потому что для всех $i \neq k$ значения x_i должны быть равны нулю. Это следует из нового условия (8), в соответствии с которым при всех $x_i > 0 \forall i \neq k$ значения $\psi(x)$ будут меньше максимального.

Из этого вывода следует, что ресурс b следует направлять на проведение только одного мероприятия, т. е. на увеличение одного параметра вектора (3). Это справедливо для любых, а не только неотрицательных значений α_i в случае наличия среди них хотя бы одного положительного.

Во втором варианте задачи, когда функция $\psi(x)$ нелинейна и представляет собой вогнутую функцию, а ограничение линейно, функцию поиска критерия для оценки максимальной эффективности можно записать в виде [22]:

$$\psi(x_s) = \max_x \psi(x) \tag{9}$$

с теми же ограничениями (см. формулы (2) и (4)):

$$\begin{cases} g(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i; \\ g(x) \leq b, b > 0. \end{cases} \tag{10}$$

Решение этой задачи, так же как и предыдущей, находится на границе, определяемой ограничениями (10). Обычно задачи данного класса принято решать методом Лагранжа [23], но в данном случае уместно прибегнуть к другому решению поставленной задачи.

Предположим, что, разбив ресурс b на части Δb , соответствующие его использованию в отдельных мероприятиях, мы сможем распределить их последовательно. При этом время использования каждой доли ресурса не будет иметь принципиального значения, как и порядок использования указанных составных частей. Тогда на небольших участках, соответствующих Δb , задачу в нелинейной постановке можно решать как линейную.

По аналогии с ней нам необходимо найти такое значение $\psi(x)$, для которого частная производная по одному из параметров (см. формулу (3)) максимальна с учетом умножения на коэффициент $1/\beta_k$. Тогда, выбрав мероприятие x_k , использующее его ресурс так, что

$$\exists k, \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} = \max_{x_i} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i}, \tag{11}$$

функцию (9) следует переписать в виде

$$\psi(x) = \psi \left(x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, \frac{b}{\beta_k} - \sum_{i \neq k} \frac{\beta_i}{\beta_k} \cdot x_{k+1}, \dots, x_n \right). \tag{12}$$

Следовательно, приращение функции $\psi(x)$ необходимо определить так:

$$d\psi(x) = \frac{\Delta b}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} - \frac{\beta_i}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} \right\} dx_i, \tag{13}$$

или

$$d\psi(x) = \frac{\Delta b}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} - \sum_{i=1}^n \beta_i \left\{ \beta_k^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} - \beta_k^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} \right\} dx_i, \tag{14}$$

$$\text{где } k = \text{Arg} \left\{ \max_i \left(\beta_i^{-1} \frac{\partial \Psi(x)}{\partial x_i} \right) \right\}. \quad (15)$$

Исходя из того что все величины в (13) и (14) под знаком суммы не положительны, при распределении Δb можем считать, как и в предыдущей постановке, что оптимальное решение в этом случае состоит в использовании всего ресурса Δb только для одного мероприятия k .

Анализ результатов

Последовательно проводя решение данной задачи для различных Δb , можно видеть, что в каждом случае значение $\max_x \Psi(x)$ будет найдено для различных мероприятий. А вывод о необходимости использования всего ресурса Δb на k -е мероприятие говорит лишь о том, что не следует расплывать его между несколькими мероприятиями.

Необходимо заметить, что в случае решения задачи определения готовности оборудования АСПВБ в данной постановке восстановительные мероприятия, предусмотренные планами, будут проводиться так, что и сам вектор (3) будет меняться, и в нем будут меняться число и характер мероприятий. Это связано с тем, что для каждого из x_k будет найдено свое мероприятие, а для остальных расчет будет выполняться без него на следующем шаге распределения Δb . В этом случае для каждого шага при использовании части ресурса Δb следует предусмотреть свой вектор мероприятий x^t :

$$x^t = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\}, \quad (16)$$

а также и свой вектор интенсивности их проведения:

$$\beta^t = \{\beta_1^t, \beta_2^t, \dots, \beta_n^t\}. \quad (17)$$

Тогда, принимая, что всего будет распределено T порций ресурса, где

$$T = b/\Delta b, \quad (18)$$

можно записать следующую формулу интегральной готовности оборудования АСПВБ для T восстановительных мероприятий, для которых возможно использование ресурса b , причем его части Δb хватит для полного проведения указанных мероприятий:

$$d\Psi^t(x_3) = \Delta b \sum_{t=1}^T (\beta_k^t)^{-1} \frac{\partial \Psi(x)}{\partial x_k^t}, \quad (19)$$

где t — номер шага;

k — индекс мероприятия из плана, для которого целевая функция на t -м шаге принимает максимальное значение.

Заключение

Задача, приведенная в двух различных постановках и с одним ограничением, показывает, как, используя последовательные приращения значения ресурса, ограниченного за счет особых условий, можно оценить эффективность запланированных мероприятий по восстановлению оборудования АСПВБ. При этом планирование мероприятий и оценка их значимости выполняются с учетом иерархии, получаемой в результате стратегического планирования.

Приведенные в настоящей статье преобразования могут быть легко применены для случая разделения данного оборудования на классы и подклассы, а также при изменении характера ограничений или использовании нескольких ограничений. Такое масштабирование позволит создать удобный алгоритм поддержки управления ЛПП в АСПВБ, что в свою очередь при наличии особых условий позволит поддерживать ПБ объекта ТЭК на должном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сатин А. П., Ле Тхань Бинь, Прус Ю. В. Прогнозирование готовности пожарной техники на основе марковской модели поломок и восстановления // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 5(45). — 11 с.
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. Winmag Plus — основа интеграции для систем безопасности в нефтегазовой отрасли / АО “Хоневелл” // Алгоритм безопасности. — 2018. — № 3. — С. 8–9.
4. 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 Non-destructive Testing. — 2015. — Vol. 51, No. 4. — P. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.
5. Зуев Н. Ю., Хабибуллин Р. Ш., Шихалев Д. В., Гудин С. В. Информационная технология экспертного опроса специалистов нефтегазовой отрасли для предотвращения пожаров на объектах защиты // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 17–25. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.17-25.
6. Alexandre 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.

7. *Bogue R.* Sensors for fire detection // *Sensor Review*. — 2013. — Vol. 33, No. 2. — P. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
8. *Milov V. R., Suslov B. A., Kryukov O. V.* Intellectual management decision support in gas industry // *Automation and Remote Control*. — 2011. — Vol. 72, No. 5. — P. 1095–1101. DOI: 10.1134/S0005117911050183.
9. *Hammond J. S., Keeney R. L., Raiffa H.* Smart choices: A practical guide to making better life decisions. — Boston, MA : Harvard Business School Press, 2002. — 256 p.
10. *Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В.* Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
11. *Бутузов С. Ю., Крючков А. В., Самарин И. В.* Метод количественного расчета совокупного фактора влияния персонала на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 60–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.60-66.
12. *Nolan D. P.* Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. — 3rd ed. — Norwich, NY : William Andrew, 2010. — 496 p.
13. 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: 24.11.2018).
14. 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: 24.11.2018).
15. How Russia has overhauled its fire protection sector. URL: <http://www.securika-moscow.ru/en-GB/press/news/How-Russia-overhauled-fire-protection-sector.aspx> (дата обращения: 24.11.2018).
16. Проектирование НПЗ. URL: <http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/> (дата обращения: 27.11.2018).
17. *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.
18. *Самарин И. В., Фомин А. Н.* Стратегическое планирование на предприятии: применение метода анализа иерархий для стратегического мониторинга деятельности // *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. — 2014. — № 5. — С. 84–89. DOI: 10.21686/2500-3925-2014-5-84-89.
19. *Антонов А. В.* Системный анализ : учеб. для вузов. — М. : Высшая школа, 2004. — 454 с.
20. *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.
21. *Зорич В. А.* Математический анализ. — В 2 ч. — Изд. 8-е, испр. — М. : МЦНМО, 2017. — Ч. I. — 576 с.
22. *Базара М., Шетти К.* Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / Пер. с англ. — М. : Мир, 1982. — 583 с.
23. *Самарский А. А., Гулин А. В.* Численные методы. — М. : Наука, 1989. — 432 с.

Материал поступил в редакцию 8 января 2019 г.

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; 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; 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