

С. Ю. Бутузов¹, И. В. Самарин², А. Ю. Строгонов²
(¹Академия ГПС МЧС России, ²РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина;
e-mail: ivs@gubkin.ru)

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВЕДЕНИЯ В ГОТОВНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрено построение модели оценки действий по приведению в готовность оборудования автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) в особых условиях. Использован инструментарий стратегического планирования для обеспечения пожарной безопасности. При моделировании выявлен дискретный характер интенсивности проведения мероприятий по приведению в состояние готовности оборудования АСПВБ первого уровня по отношению к некоторому ресурсу. Предложен непрерывный аналог данного процесса с использованием частных производных. Представлен алгоритм программного обеспечения АСПВБ с целью поддержки управления состоянием готовности пожарного оборудования.

Ключевые слова: готовность оборудования, автоматизированная система пожаровзрывобезопасности, топливно-энергетический комплекс, поддержка управления, пожарная безопасность, интегральный показатель, стратегическое планирование, пожары.

Введение

Экономическое развитие *Российской Федерации (РФ)* напрямую связано с увеличением объёмов добычи нефти и газа. Для этого необходимо своевременно вводить в действие новые месторождения и строить для них новые объекты *топливно-энергетического комплекса (ТЭК)*. Исходя из характера их работы, можно считать, что общее количество угроз *пожарной безопасности (ПБ)* при этом на территории России возрастает. Важной задачей является прогнозирование готовности пожарной техники при устранении пожаров [1]. Однако предупреждение возникновения подобных опасных ситуаций на критически важных объектах ТЭК существенно снижает риск материальных потерь, дестабилизации производственных процессов. Поэтому необходимо обеспечивать качественно иной уровень работы средств оповещения (газовых пожарных извещателей, средств и систем пожарной автоматики, датчиков состояния среды) на таких объектах.

О пожарах или предпожарных режимах *лицам, принимающим решения (ЛПР) объектов ТЭК* сообщают средства третьего уровня информирования *автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП)*. Обычно ими являются средства визуализации обстановки [2], одной из функций которых может также служить мониторинг текущей пожарной обстановки на объекте с использованием основных подсистем *автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ)*, работа которых напрямую связана с обеспечением ПБ [3].

Одной из подсистем АСПВБ является система математического обеспечения, которая содержит модели и алгоритмы поддержки управления ЛПР на объекте ТЭК в реальном времени. Благодаря их применению ЛПР, находясь во внутреннем контуре АСПВБ, может судить о готовности и надёжности встроенных средств информирования первого уровня [4]. Ими обычно являются средства пожарной автоматики, датчики состояния среды, газовые и пожарные извещатели и т.п. объекты.

Однако, основной проблемой их применения в настоящее время является зависимость отраслей ТЭК России от иностранных производителей оборудования. Это касается и пожарно-технических средств. Состояние их готовности в АСПВБ определяется правильным применением регламентных процедур, как правило, определяемых производителями соответствующего оборудования. Зачастую без их применения уровень доверия к показателям его работы снижается.

В связи с этим в обычных условиях работы АСПВБ необходимо проведение плановых мероприятий по определению состояния оборудования информирования первого уровня и его последующему приведению в готовность в опасных ситуациях. Важным также является и отслеживание характера проведения этих мероприятий в соответствии с запланированным графиком. Последняя задача выполняется в АСПВБ с помощью специального **программного обеспечения (ПО)** АСПВБ [5]. При этом модели и алгоритмы для него являются компонентами подсистемы математического обеспечения АСПВБ.

На предприятиях ТЭК системы контроля и обеспечения пожарной безопасности включают в себя составные элементы оборудования зарубежного производства [6, 7]. По данным [8] 80 % рынка средств противопожарной защиты занимают производители из-за рубежа. Доля рынка по объёму продукции: ЧП "Артон" (36 %), Beijing PT Security Technology (33 %), Wismart Technology (11 %). Распределение долей в стоимостном выражении: Bosch (11 %), Некатрон (9 %), Honeywell (8 %) [8].

Вместе с тем, проведение восстановительных мероприятий в соответствии с запланированным графиком ремонтными бригадами объектов ТЭК, обслуживающими эти объекты компаниями или производителями оборудования в последнее время становится затруднительным из-за вводимых против РФ санкций. Финансовые счета компаний, владельцев объектов ТЭК, могут быть заблокированы, а производители импортного оборудования, обеспечивающего информирование ЛПР в АСПВБ, могут отказаться от проведения соответствующих регламентных работ. Эта новая реальность для объектов ТЭК на территории РФ может быть названа особыми условиями.

Но так как обеспечение ПБ на объекте ТЭК является одной из важнейших задач ЛПР, то необходимо выстраивать такие модели оценки при определении готовности оборудования АСПВБ, которые бы позволили даже в особых условиях обеспечить его надёжную работу.

Постановка задачи

Будем считать, что в особых условиях объект ТЭК уже обеспечен необходимым оборудованием информирования первого уровня АСУТП, соответствующее оборудование смонтировано, работает исправно и необходимо обеспечить его готовность исходя из ограниченности финансовых и материальных средств объекта. Будем также считать обеспечение готовности указанного оборудования стратегической целью ЛПР в рамках поставленной задачи. Разнородность действий по его обслуживанию и ремонту будем считать минимальным.

Критерием оценки будем считать суммарное значение вкладов в итоговую агрегатную стратегическую цель всех выполненных запланированных мероприятий. При этом, согласно правилам нормировки, следует считать, что при выполнении всех запланированных сервисных и иных мероприятий, когда оборудование готово на 100 %, значение агрегатного показателя качества равно 1. Учитывая, что в особых условиях такое состояние будет недостижимо, итоговый показатель будет меньше 1.

Согласно описанной в [9] методике использования стратегического планирования, для определения влияния на общую агрегатную цель необходимы: граф стратегического планирования, основанный на иерархии целей и задач, а также решающая матрица, содержащая реальные нормированные величины этого влияния для рассматриваемых мероприятий. Анализ этих объектов позволяет детально прояснить, насколько готово то или иное оборудование АСПВБ и что нужно предпринять ЛПР, чтобы его готовность повысилась.

Для оценки готовности оборудования АСПВБ на объекте ТЭК понадобится граф стратегического планирования оценки готовности оборудования АСПВБ для объекта ТЭК (рис. 1), аналогичный приводимому в [9].

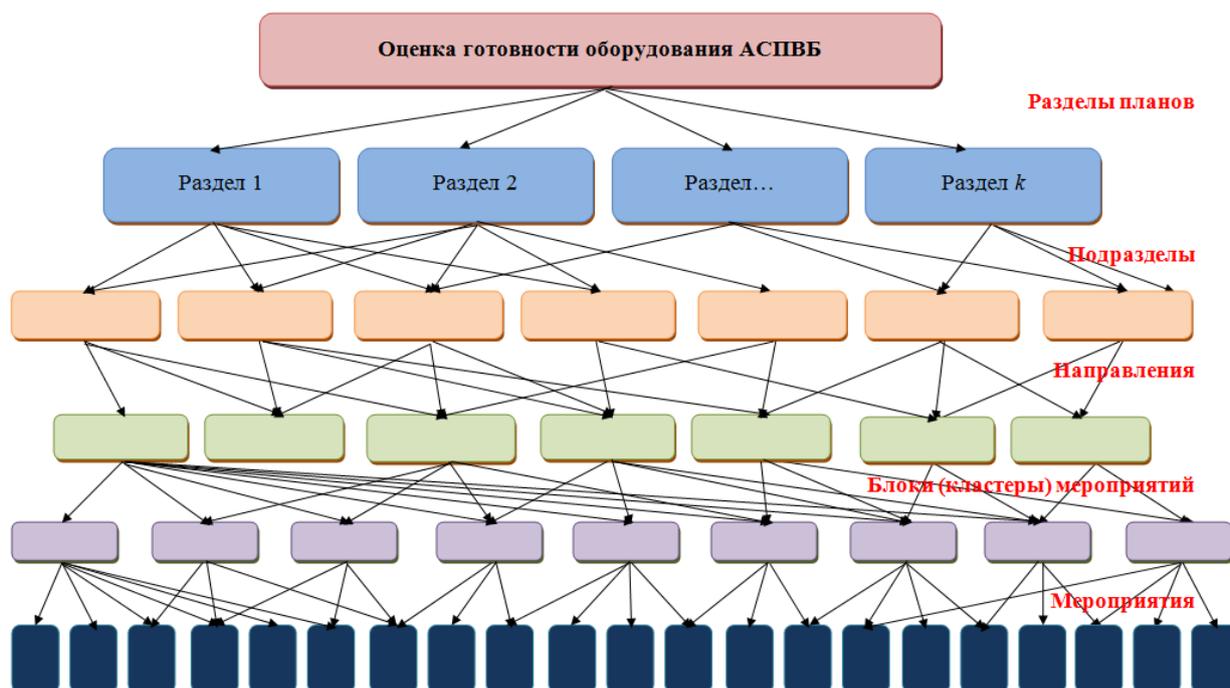


Рис. 1. Граф стратегического планирования ЛПР мероприятий приведения в готовность оборудования АСПВБ для объекта ТЭК

Как и все графы подобного типа, он содержит, прежде всего, агрегатную цель. Она задаётся исходя из поставленной задачи анализа. На основе иерархии планов восстановительных процедур для каждого из уровней такого графа строятся обратно симметричные матрицы оценок влияния и решающие матрицы с итоговым расчётом влияния.

Исходя из этого, выполняется ранжирование работ и определяется ранг мероприятий при достижении соответствующих целей. Такое ранжирование помогает впоследствии ЛПР обоснованно распределять ресурсы как в обычных, так и в особых условиях.

Модель оценки эффективности приведения в готовность оборудования АСПВБ

Рассмотрим мероприятия 6-го уровня (рис. 1) в качестве базового множества в выстраиваемой модели. Так как в разрабатываемой модели необходимо учесть наличие особых условий, важно различать общее количество необходимых для приведения в готовность пожарного оборудования рассматриваемой подсистемы АСПВБ мероприятий $x^{\text{общ}}$ и количество этих мероприятий, которые можно провести на объекте ТЭК в соответствии с имеющимися ресурсами, $x^{\text{рес}}$.

$$x^{\text{общ}} = \{x_1^{\text{общ}}, x_2^{\text{общ}}, \dots, x_N^{\text{общ}}\}; \quad (1)$$

$$x^{\text{рес}} = \{x_1^{\text{рес}}, x_2^{\text{рес}}, \dots, x_n^{\text{рес}}\}, \quad (2)$$

где N – общее количество необходимых мероприятий;

n – количество мероприятий, которые можно провести на объекте ТЭК в соответствии с имеющимися ресурсами (реально проводимые мероприятия).

При этом $x^{\text{рес}} \subset x^{\text{общ}}$ ($n \subset N$). Значениями этих множеств могут быть как математические величины, принимающие числовые значения, так и не являющиеся цифровыми текстовые фразы. В отдельных случаях их можно считать предикатами.

Будем рассматривать только случаи, когда значениями указанных множеств являются числа или предикаты. В этом случае уместна такая трактовка для $x_i^{\text{общ}}$

$$x_i^{\text{общ}} = \begin{cases} x_i^{\text{рес}}, & \text{ресурс есть;} \\ 0, & \text{ресурса нет.} \end{cases} \quad (3)$$

И соответственно одним из вариантов записи (1) может быть формула

$$x^{\text{общ}} = \{x_1^{\text{рес}}, \dots, 0; x_2^{\text{рес}}, \dots, 0; x_n^{\text{рес}}, \dots, 0\}. \quad (4)$$

При этом порядок нулей и значащих элементов множества может быть различным. В отдельных случаях можно считать значащие $x_i^{\text{рес}}$ равными 1. Тогда, умножая на этот вектор векторы с содержательными значениями той же размерности, можно получать искомые величины показателей эффективности по различным направлениям.

При проведении работ согласно планам, персонал их может вести с определенной интенсивностью. В рассматриваемой постановке её также можно представить в виде пары множеств

$$\beta^{\text{общ}} = \{\beta_1^{\text{общ}}, \beta_2^{\text{общ}}, \dots, \beta_N^{\text{общ}}\}; \quad (5)$$

$$\beta^{\text{pec}} = \{\beta_1^{\text{pec}}, \beta_2^{\text{pec}}, \dots, \beta_n^{\text{pec}}\}, \quad (6)$$

для которых также справедливо условие $\beta^{\text{pec}} \subset \beta^{\text{общ}}$ ($n \subset N$) и выполняются формулы, аналогичные (3)-(4).

$$\beta^{\text{общ}} = \{\beta_1^{\text{pec}}, \dots, 0; \beta_2^{\text{pec}}, \dots, 0; \beta_n^{\text{pec}}, \dots, 0\}. \quad (7)$$

В общем случае интенсивность работ на оборудовании АСПВБ для обеспечения его готовности есть функция нескольких переменных. Поэтому $\beta^{\text{общ}}$ следует рассматривать как

$$\beta_i^{\text{общ}} = f_i(A, B, I, T, F, C), \quad (8)$$

где A – множество запланированных мероприятий на оборудовании;

B – множество имеющихся ресурсов для оборудования (запасные части или целые агрегаты);

I – множество имеющихся инструментов и приборов у персонала;

T – множество резервов запланированного производственного времени для проведения данного вида работ, которым располагает персонал;

F – множество имеющихся запланированных финансовых ресурсов;

C – множество других факторов, оказывающих влияние на проведение запланированных работ.

В данной статье рассмотрим только ресурсную зависимость интенсивности запланированных работ. Иными словами, функция (8) будет функцией только одного аргумента – ресурса B .

Очевидно, что все ресурсы, используемые при проведении работ, можно представить множеством

$$B = \{B_1, B_2, \dots, B_u\}, \quad (9)$$

где u – число типов ресурсов;

B_i – объём в числовых единицах ресурса заданного типа, которым располагает персонал объекта ТЭК.

Так как построение модели в данной постановке инвариантно к типу ресурсов и для каждого из типов ресурсов в множестве (9) задача будет решаться одинаково, здесь и далее будем рассматривать отдельный тип ресурса этого множества как целый ресурс B . Тогда можно говорить, что при проведении работ в АСПВБ, согласно стратегической задаче обеспечения готовности оборудования информирования первого уровня, ресурс может распределяться с различной интенсивностью между различными работами. В простейшем случае, когда важность каждой из запланированных n работ одинакова и на каждую из них требуется одинаковое количество ресурса, можно говорить, что расход ресурса Δb_i на отдельную работу равен

$$\Delta b_i = \frac{B}{n}. \quad (10)$$

При этом потребное количество ресурса (количество ресурса, необходимое для приведения в готовность или для полного выполнения мероприятия согласно плану) задаётся множеством

$$b^{\text{нтр}} = \{b_1^{\text{нтр}}, b_2^{\text{нтр}}, \dots, b_N^{\text{нтр}}\}, \quad (11)$$

где $b_i^{\text{нтр}}$ – потребное количество ресурса B для i -го элемента оборудования при проведении для него мероприятия. И при этом

$$\sum_{i=1}^n b_i^{\text{нтр}} = B. \quad (12)$$

Кроме условия (12), для $b^{\text{нтр}}$ необходимо также условие

$$\forall i, i = 1, \dots, n : b_i^{\text{нтр}} \geq 0, \quad (13)$$

так как для всех элементов оборудования либо уже прошли запланированные процедуры, либо для полноценного их проведения необходимо использовать $b_i^{\text{нтр}}$ единиц ресурса B .

Учитывая данные выше для формул (1)-(4) определения, можно утверждать, что формула (11) является аналогом формул (1) и (4) для случая ресурсного обеспечения запланированных мероприятий (наличия и расходования ресурсов для оборудования АСПВБ для обеспечения его готовности).

Интенсивность использования ресурса B в нормированном виде выглядит так [10]

$$\sum_{i=1}^n \beta_{ni}^{\text{pec}} = \sum_{i=1}^N \beta_{ni}^{\text{общ}} = 1, \quad (14)$$

где β_{ni}^{pec} – нормированная интенсивность расходования ресурса B на i -е мероприятие, определяемая из (6) как

$$\beta_{\Sigma}^{\text{pec}} = \sum_{i=1}^n \beta_i^{\text{pec}}; \quad \beta_{ni}^{\text{pec}} = \frac{\beta_i^{\text{pec}}}{\beta_{\Sigma}^{\text{pec}}}, \quad (15)$$

Принимая во внимание изначальный характер постановки задачи, когда мероприятие или блок мероприятий, направленные на приведение в готовность оборудования АСПВБ первого уровня выполняются в виде последовательности шагов, можно говорить, что интенсивность их проведения по отношению к ресурсу B носит исключительно дискретный характер. Иными словами, дискретны как сама функция интенсивности, так и её аргумент.

Так как интенсивность приведения в готовность оборудования АСПВБ для обеспечения его готовности представляет собой производную по одной из переменных – времени проведения мероприятий или мероприятиям, проводимым с учётом количества используемых в них ресурсов, – для получения формулы, её характеризующей, необходимы частные производные по одному из этих её аргументов. Они могут рассматриваться как непрерывные аналоги дискретного процесса [11] и выглядеть как

$$\beta_i^{\text{pec}} = \frac{\partial \Delta b_i}{\partial a_i}; \quad \beta_i^{\text{pec}} = \frac{\partial \Delta b_i}{\partial t_i}, \quad (16)$$

где a_i – проводимые для i -й единицы оборудования АСПВБ мероприятия;

t_i – время проведения каждого отдельного мероприятия для i -й единицы оборудования АСПВБ.

Фактически (16) показывает "скорость" расходования ресурса B для i -й единицы оборудования АСПВБ. Доля ресурса B , расходуемая на i -ю единицу оборудования АСПВБ, введённая в (10), последовательно и дискретно расходуется при проведении запланированных мероприятий.

В реальной жизни формула (10) может быть не актуальна, так как на различные виды оборудования может расходоваться различное число ресурса B . Однако, если полагать, что в данной постановке имеем дело с набором классов оборудования с одинаковым внутри класса набором элементов по типу и количеству ресурса $b_i^{\text{нп}}$, то для каждого из элементов внутри выбранного класса условие (10) будет выполняться. Тогда можно решать задачу для отдельного класса оборудования, повторяя процесс решения впоследствии для каждого из них на других исходных данных.

Для оценки готовности заданного класса оборудования введём двоичную функцию готовности для i -й единицы оборудования АСПВБ

$$f_{\text{эли}}^{\text{гот}} = \begin{cases} 1, & b_i^{\text{нп}} \geq \Delta b_i; \\ 0, & b_i^{\text{нп}} < \Delta b_i. \end{cases} \quad (17)$$

Трактовка (17) такова: если потребное количество ресурса B , необходимое для приведения в готовность i -й единицы оборудования АСПВБ $b_i^{\text{нп}}$ равно или превышает распределенное (или запланированное на мероприятие) для неё количество ресурса Δb_i , то соответствующая единица данного оборудования в ходе проведения плановых работ будет готова к работе. В противном случае – не готова. Учитывая количество классов оборудования, для которых справедливо условие (10), можно говорить, что агрегатная функция готовности оборудования информирования АСПВБ первого уровня (датчиков пожарной сигнализации и т.п.) будет определена как множество

$$f^{\text{гот}} = \{f_1^{\text{гот}}, f_2^{\text{гот}}, \dots, f_L^{\text{гот}}\}, \quad (18)$$

где $f_i^{\text{гот}}$ – интегральная функция готовности оборудования i -го класса;

L – количество классов оборудования.

В отдельных случаях, когда работа по восстановлению ресурсов на складах ведется систематически и на склады ресурсы, которые будут использоваться в АСПВБ, поступают в течение времени, которым можно пренебречь, количество классов оборудования L и количество типов ресурсов u могут совпадать. В более общем случае $L < u$.

При этом, если

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_L\}, \quad (19)$$

где d_i – число единиц оборудования i -го класса, то

$$\sum_{i=1}^L d_i = N. \quad (20)$$

Элементы множества (18) следует определить как

$$f_i^{\text{гот}} = \sum_{j=1}^{d_i} f_{ij}^{\text{гот}}, \quad (21)$$

где $f_{ij}^{\text{гот}}$ – функция готовности j -го элемента i -го класса (17).

Показателем качества готовности к применению оборудования i -го класса в АСПВБ на объекте ТЭК может служить отношение

$$\gamma_i = \frac{f_i^{\text{гот}}}{d_i}. \quad (22)$$

Соответственно агрегатный показатель готовности оборудования АСПВБ при проведении запланированных мероприятий будет представлять собой множество, состоящее из показателей качества оборудования по классам

$$\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_L\}. \quad (23)$$

Результаты моделирования

Однако, применение данной модели возможно без наличия ограничений, связанных с особыми условиями. Для их учёта необходимо помнить, что при наличии таких условий ресурсы всех классов ограничены. Уточнение модели для данного случая расхода ресурса на i -е мероприятие потребует учесть для всех мероприятий коэффициент их важности, который необходимо определить из решающей матрицы [12], построенной в соответствии с методами стратегического планирования.

Тогда приняв, что множество запланированных мероприятий на оборудовании есть (1), можно определить множество

$$A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}, \quad (24)$$

где α_i – коэффициент важности мероприятия для i -й единицы оборудования АСПВБ. При этом для всех α_i

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1, \quad (25)$$

Как правило, для определения последовательности выполнения этих мероприятий необходимо преобразовать множество (24) в

$$A^{\text{уп}} = \{\alpha_1^{\text{уп}}, \alpha_2^{\text{уп}}, \dots, \alpha_N^{\text{уп}}\}, \quad \forall \alpha_i^{\text{уп}}, \alpha_{i-1}^{\text{уп}} : \alpha_i^{\text{уп}} > \alpha_{i-1}^{\text{уп}}. \quad (26)$$

При этом следует учитывать, что $\alpha_i^{\text{уп}}$ для всех элементов множества (26) относятся в общем случае к различным классам оборудования. Получив множество (26), следует определить, какие работы возможно выполнить исходя из количества типов имеющихся ресурсов (9).

Для этого прежде, чем расходовать ресурс типа B_j , следует установить:

- для какого класса оборудования предназначен данный ресурс;
- есть ли среди первоочередных мероприятий (26) те, которые обеспечивают готовность оборудования данного класса;
- достаточно ли типа ресурса $B_j \Rightarrow \forall k : b_{kj}^{\text{итп}} \geq \Delta b_{kj}$ для проведения всех запланированных мероприятий для j -го класса оборудования;
- если недостаточно, то:
 - какие из мероприятий наиболее важны для j -го класса оборудования;
 - каков порядок их проведения в соответствии с множеством коэффициентов важности (26).

Затем следует провести запланированные первоочередные мероприятия для данного и других классов оборудования в соответствии с множеством коэффициентов важности (26). При этом значение B_j уменьшится на $b_j^{\text{нп}}$.

Учитывая, что оборудование разбито на классы, внутри каждого из них будет существовать множество важности мероприятий. Его появление связано, прежде всего, с тем, что в АСПВБ имеются наиболее критичные участки, обеспечение ПБ которых наиболее важно. Следовательно, (24) в рамках рассматриваемой постановки следует рассматривать как

$$A = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_L\}, \quad (27)$$

где ξ_j – множество коэффициентов важности мероприятий для j -го класса оборудования, определяемое как

$$\xi_j = \{\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \dots, \alpha_{jd_i}\}. \quad (28)$$

При этом для каждого ξ_j

$$\xi_j^{\text{уп}} = \{\alpha_{j1}^{\text{уп}}, \alpha_{j2}^{\text{уп}}, \dots, \alpha_{jd_i}^{\text{уп}}\}, \quad \forall \alpha_{ji}^{\text{уп}}, \alpha_{j(i-1)}^{\text{уп}} : \alpha_{ji}^{\text{уп}} > \alpha_{j(i-1)}^{\text{уп}}. \quad (29)$$

Дополнительное ранжирование мероприятий внутри классов необходимо для того, чтобы определить, можно ли их провести, исходя из количества ресурса соответствующего класса.

Обобщая всё сказанное выше, следует предложить следующий алгоритм для работы ПО АСПВБ с целью поддержки управления ЛПР состоянием готовности пожарного оборудования АСПВБ, предназначенного для оповещения на объектах ТЭК в особых условиях (рис. 2).

Применение данного алгоритма позволит переписать (21) в виде

$$w_i^{\text{гот}} = \sum_{j=1}^{d_i} a_{ij} \cdot f_{ij}^{\text{гот}}, \quad (30)$$

где $w_i^{\text{гот}}$ – интегральный показатель эффективности использования ресурсов для обеспечения готовности оборудования i -го класса с учётом ранжирования мероприятий.

Собранные вместе интегральные показатели эффективности по типам ресурсов, рассчитанные по (30), представляют собой вектор оценки эффективности по приведению в готовность оборудования АСПВБ

$$W = \{w_1^{\text{гот}}, w_2^{\text{гот}}, \dots, w_L^{\text{гот}}\}, \quad (31)$$

Набор интегральных показателей по типам ресурсов может быть использован ЛПР в деятельности по корректировке управления мероприятиями ПБ.

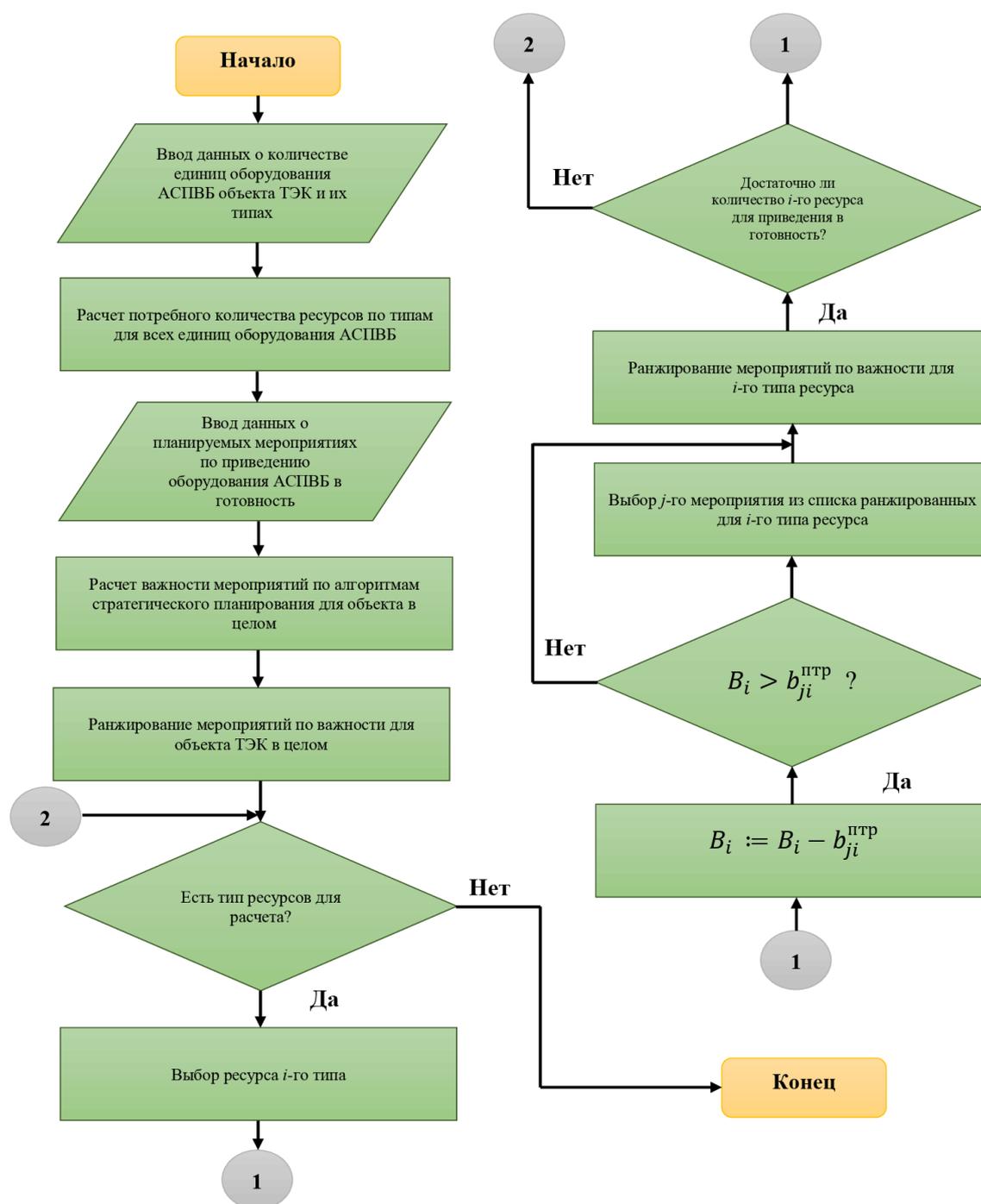


Рис. 2. Алгоритм поддержки управления ЛПР по оценке эффективности по приведению в готовность оборудования АСПВБ

Выводы

Таким образом, использование в математическом и программном обеспечении АСПВБ методов стратегического планирования позволяет ЛПР точнее определять мероприятия ПБ в особых условиях.

Предложенная модель позволяет оценить степень готовности оборудования первого уровня информирования АСУТП в особых условиях. Характеристика данных условий показывает актуальность рассмотренной задачи и необ-

ходимость рассмотрения различных методов её решения. Ведь ограничения на поставку, замену, поверку и обслуживание оборудования по предупреждению возникновения пожаровзрывоопасной ситуации на объектах ТЭК недопустимо и должно быть сведено к минимуму.

К элементам новизны можно отнести использование аппарата стратегического планирования при оценке готовности к функционированию оборудования. Рассмотрение комплексной задачи в виде иерархии, построение матриц оценок влияния и решающих матриц с итоговым расчётом влияния для рассматриваемых мероприятий позволяет ЛПП лучше ориентироваться в процессе анализа и, как следствие, принимать наиболее адекватное решение. Также следует отметить возможность применения данной модели в обычных условиях, без ограничений.

Литература

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. Вып. 5 (45). С. 17.
2. Nolan D. P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles: for oil, gas, chemical and related facilities. William Andrew, 2014. 496 p.
3. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. М.: МИПБ МВД России, 1999. 239 с.
4. Андреев Е. Б., Ключников А. И., Кротов А. В., Попадько В. Е., Шарова И. Я. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: учеб. пос. для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2008. 399 с.
5. Бутузов С. Ю., Крючков А. В., Самарин И. В. Метод количественного расчёта совокупного фактора влияния персонала на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 7-8. С. 60-66.
6. IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry. May 2015. Vol. 15. 167 p. <http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf>.
7. Construction Health and Safety Manual: Oil Refineries and Petrochemical Plants. https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf.
8. How Russia has overhauled its fire protection sector. <http://www.securika-moscow.ru/en-GB/press/news/How-Russia-overhauled-fire-protection-sector.aspx>.
9. 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.
10. Гельфанд И. М. Лекции по линейной алгебре. М.: Добросвет: изд-во "КДУ". 2006. 320 с.
11. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.
12. 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.

Материал поступил в редакцию 12 октября 2018 г.

Для цитирования: Бутузов С. Ю., Самарин И. В., Строгонов А. Ю. Модель оценки эффективности приведения в готовность оборудования автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 1 (83). – 2019. – С. 113-125. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.113-125.

S. Yu. Butuzov, I. V. Samarin, A. Yu. Strogonov
**MODEL OF AN EFFICIENCY ASSESSMENT
FOR READINESS OF EQUIPMENT OF AUTOMATED FIRE
AND EXPLOSION SAFETY SYSTEMS**

The aim of the work is to build a model for evaluating actions to alert the equipment of automated fire and explosion safety systems (AFESS) under special conditions and to identify measures to improve readiness on the part of decision makers (DM). Using of regulatory procedures determines the state of readiness of fire-fighting equipment. However, manufacturers can violate regulatory procedures. The need for a model that makes it possible to evaluate and ensure the reliable operation of AFESS equipment is relevant. To solve the problem, a graph of strategic planning, including a hierarchy of goals and objectives, as well as inversely symmetric impact assessment matrices and decision matrices with a final impact calculation, was used. Analyzing the data of the DM objects allows you to get a structured solution of the problem. The article discusses the concept of special conditions for the operation of fuel and energy complex (FEC) facilities, under which there are restrictions on the supply, timely replacement and verification of equipment. Moreover, the application of the proposed model is possible without restrictions associated with special conditions. In the process of modeling, it has been established that the intensity of carrying out activities to bring the first level AFESS equipment into a state of readiness in relation to a certain resource is discrete. A continuous analogue of this process with the use of partial derivatives is proposed. Algorithm of AFESS software is presented to support the DM management of the readiness of fire equipment. The model is necessary for application in control support systems with the goal of timely detection of automated process control systems equipment that is not ready for operation at the fuel and energy complex facility, which makes it easier for DM to assess the overall work plans of facility personnel to bring the required subsystems into readiness.

Key words: readiness of equipment, fire and explosion safety system, fuel and energy complex, management support, fire safety, integral indicator, strategic planning, fires.

References

1. Satin A. P., Le Thanh Bin, Prus Yu. V. Forecasting of readiness of fire equipment based on the markov model breakdowns and recovery. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2012, vol. 5 (45), 11 p. (in Russian).
2. Nolan D. P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles: for oil, gas, chemical and related facilities, William Andrew Publ., 2014, 496 p.
3. Abrosimov A. A., Topolskiy N. G., Fedorov A. V. *Avtomatizirovanniyye 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.
4. Andreev E. B., Klyuchnikov A. I., Krotov A. V., Popadko V. E., Sharova I. Ya. *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.
5. Butuzov S. Yu., Kryuchkov A. V., Samarin I. V. Method of quantitative calculation of the total factor impact of personnel stability special software of the automated systems of fire and explosion. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 60-66 (in Russian).
6. 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>.

7. 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.

8. How Russia has overhauled its fire protection sector. Available at: <http://www.securika-moscow.ru/en-GB/press/news/How-Russia-overhauled-fire-protection-sector.aspx>.

9. Samarin I. V., Strogonov A. Yu. 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 Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza im. I.M. Gubkina / Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2018, no. 4 (293). pp. 143-154 (in Russian).

10. Gelfand I. M. *Lekcii po linejnoj algebra*. [Lectures on linear algebra]. Moscow, Dobrosvet Publ., 2006, 320 p. (in Russian).

11. Samarskij A.A., Gulin A.V. *Chislennye metody* [Numerical methods]. Moscow, Nauka Publ., 1989, 432 pp. (in Russian).

12. Samarin I. V. 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).

For citation: Butuzov S. Yu., Samarin I. V., Strogonov A. Yu. Model of an efficiency assessment for readiness of equipment of automated fire and explosion safety systems. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 1 (83), 2019, pp. 113-125 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.113-125.