

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ ЕДИНИЦ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АСУТП НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК

FORECASTING TECHNIQUE OF READINESS OF UNITS OF FIRE-FIGHTING EQUIPMENT OF APCS AT ENTERPRISES OF FUEL AND ENERGY COMPLEX USING STRATEGIC PLANNING

Yu. Prus
A. Kryuchkov
I. Samarin
A. Strogonov

Summary. The method of assessment of forecasting of readiness of fire forces and means at the enterprise of fuel and energy complex (FEC) using strategic planning is considered. This method can be applied in the process of control support in monitoring the readiness of pieces of fire-fighting equipment of automated process control systems (APCS) to the occurrence of dangerous situations associated with fires and explosions. The aim of this monitoring is identifying vulnerabilities of fire safety at FEC facilities using the graph of strategic planning. The construction of the forecasting model is based on the analysis of the functioning of the system of fire forces and means of FEC facility. The system makes direct and reverse transitions between individual states. The process of forecasting and monitoring is going in such system. To simplify the analysis of the system operation the simulated transition process was adopted by Markov process. Taking into account the described function of the intensity of the flow of adverse events detected during monitoring for separate units of equipment, as well as the intensity of the flow of recovery events for the lower level of aggregated units of fire-fighting equipment, the equations of readiness of fire forces and means of some facility of FEC are determined in the form of Kolmogorov equations. The proposed technique can be used in the control part of the APCS. This part is called automated system of fire and explosion protection. It ensures the implementation of fire safety. An integral part of this system is an automated fire and explosion prevention system, for which the application of the described method is actual.

Keywords: readiness of fire forces, degree of readiness, readiness assessment, readiness indicator, automated process control system, automated system of fire and explosion protection, fuel and energy complex, management support, fire safety, fire equipment, piece of equipment, fire automatic, strategic planning, monitoring, hierarchy, plan.

Прус Юрий Витальевич

*Д.ф.-м.н., профессор, Российский государственный
социальный университет*

Крючков Алексей Вячеславович

*К.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени
И. М. Губкина
kruchkov.a@gubkin.ru*

Самарин Илья Вадимович

*К.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени
И. М. Губкина
ivs@gubkin.ru*

Строгонов Андрей Юрьевич

Аспирант, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина

Аннотация. Рассмотрен способ оценки прогнозирования готовности пожарных сил и средств на предприятии топливно-энергетического комплекса (ТЭК) с использованием методов стратегического планирования. Метод может быть применён в процессе поддержки управления при проведении мониторинга готовности единиц противопожарного оборудования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) к возникновению опасных ситуаций, связанных с пожарами и взрывами. Целью данного мониторинга является выявление уязвимостей обеспечения пожарной безопасности на объектах ТЭК с помощью графа стратегического планирования. Построение модели прогнозирования основано на анализе функционирования системы пожарных сил и средств объекта ТЭК. Система, в которой проходят мероприятия прогнозирования и осуществляется мониторинг, совершает прямые и обратные переходы между отдельными состояниями. Для упрощения анализа работы системы моделируемый процесс переходов принят Марковским. С учётом описанной функции интенсивности потока неблагоприятных событий, выявляемых в ходе мониторинга для отдельных единиц оборудования, а также интенсивности потока событий восстановления для нижнего уровня агрегированных единиц противопожарного оборудования уравнения готовности пожарных сил и средств некоторого объекта ТЭК определены в виде уравнений Колмогорова. Предложенная методика может использоваться в управляющей части АСУТП, называемой автоматизированной системой пожаровзрывобезопасности, обеспечивающей выполнение мероприятий пожарной безопасности. Составной частью такой системы является автоматизированная система предотвращения пожаров и взрывов, для которой применение описанного метода является актуальным.

Ключевые слова: готовность пожарных сил, степень готовности, оценка готовности, показатель готовности, автоматизированная система управления технологическими процессами, автоматизированная система пожаровзрывобезопасности, топливно-энергетический комплекс, поддержка управления, пожарная безопасность, пожарное оборудование, единица оборудования, пожарная автоматика, стратегическое планирование, мониторинг, иерархия, план.

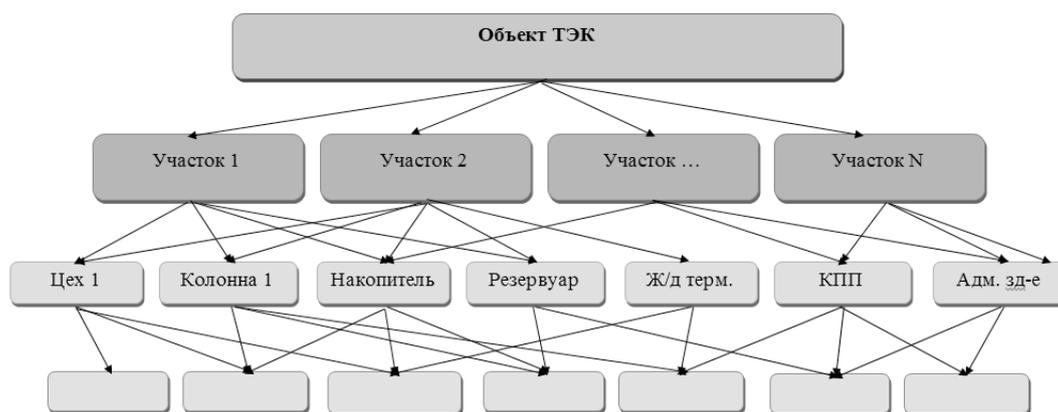


Рис. 1. Пример графа стратегического планирования в иерархии мониторинга готовности пожарных сил и средств на объекте ТЭК

Введение

Проведение мероприятий по интенсификации производства на объектах топливно-энергетического комплекса (ТЭК) существенно повышает требования к пожарной безопасности (ПБ) на таких объектах. Готовность пожарной автоматики в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП), а также планирование мероприятий по приведению соответствующего оборудования в состояние необходимой готовности становятся приоритетными направлениями в предотвращении возникновения пожаров и взрывов на объектах ТЭК. Немаловажным является контроль за выполнением требований стандартизации в области управления безопасностью [1].

Реализацию планов по предотвращению чрезвычайных и опасных ситуаций на объектах ТЭК принято вести в плановом порядке. Одним из способов реализации таких планов является план проведения профилактических работ, в рамках которого выполняются действия по осмотру ремонтными необходимыми для регистрации параметров среды на объекте ТЭК оборудования АСУТП. В [2] представлено обоснование необходимости непрерывной диагностики оборудования АСУТП, а также перечень мероприятий по предотвращению пожаров и взрывов. Учитывая разнородность направлений деятельности и возможное неполное проведение запланированных мероприятий, целесообразно использовать для его разработки и оценки прогнозирования рисков ПБ, а также готовности соответствующих пожарных сил и средств набор методов стратегического планирования.

Наиболее проработанным с научной точки зрения для такого прогнозирования является математический

аппарат подсистемы предотвращения пожаров и взрывов автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) объектов ТЭК. Функционирование АСПВБ нефтеперерабатывающих производств [3] проходит в условиях непрерывного оборота пожароопасных веществ, используемых в качестве сырья, продуктов переработки и побочных продуктов производства. В связи со спецификой протекающих на подобных объектах производственных процессов время реагирования на нештатную ситуацию лицом, принимающим решение (ЛПР), крайне ограничено. Для принятия единственного верного решения в короткий промежуток времени ЛПР необходима максимально полная, подтверждённая информация об объекте управления [4]. Такую информацию ЛПР могут получать благодаря функциональным программным модулям АСПВБ. Автоматизированная система предупреждения пожаров и взрывов предназначена «для автоматизированного управления профилактическими противопожарными работами, автоматизированного решения задач по предотвращению предпожарных и взрывоопасных режимов, включая автоматизированное управление экологическим мониторингом» ([3], с. 130). В рамках работы данной подсистемы АСПВБ необходимо тщательное планирование. Следует постоянно учитывать текущий уровень готовности пожарных сил и средств на объектах ТЭК, исходя из времени их работы, актуальности выдаваемой ими информации, финансирования мероприятий по поверкам и т.п.

Для этих оценок текущего уровня готовности пожарных сил и средств, а также возможных затрат на обеспечение необходимого уровня их готовности в случае передачи ряда функций по их обслуживанию и ремонту сторонней организации, следует подготовить предложения по автоматизированной поддержке управления. Применение методов стратегического планирования для этого представляется целесообразным и полезным.

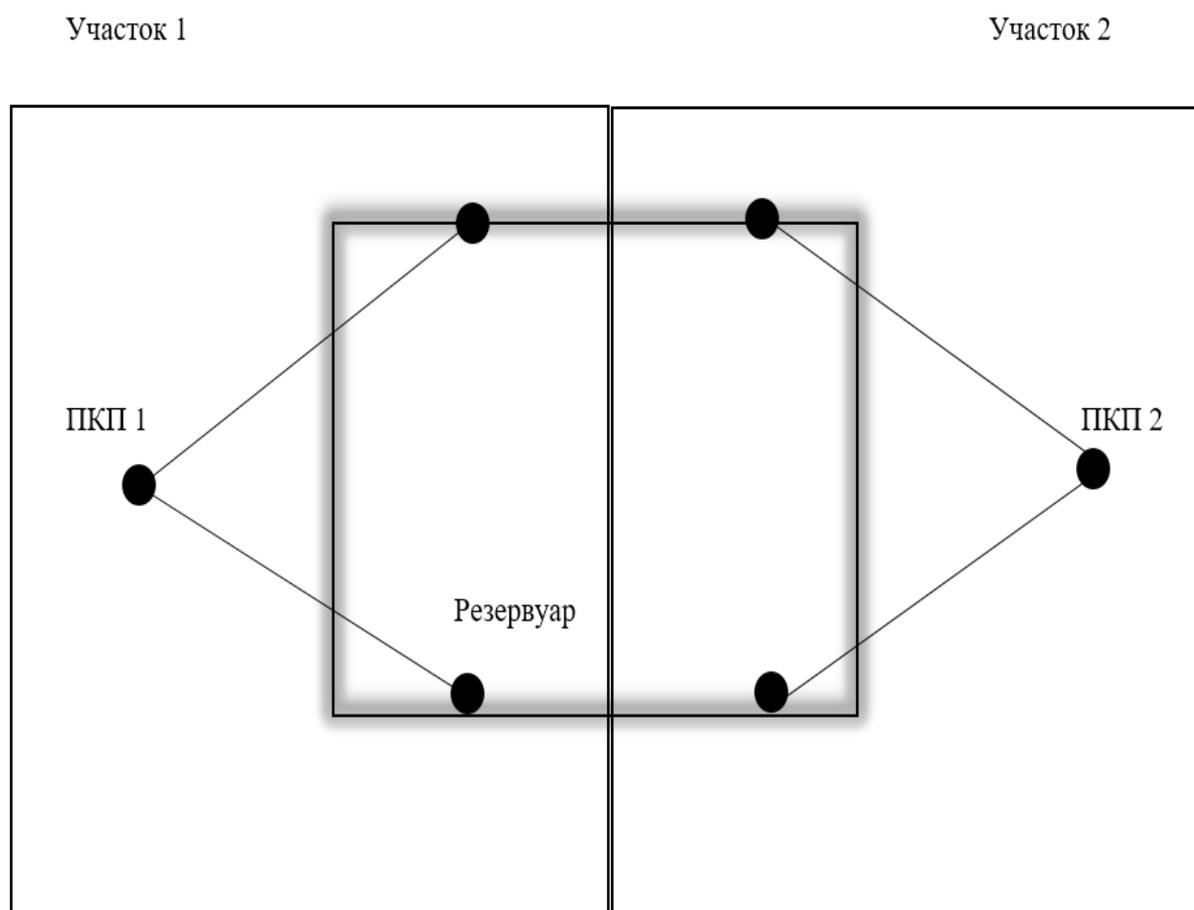


Рис. 2. Пример размещения пожарных сил и средств на подобъекте ТЭК

Методы исследования

Основу таких методов составляет применение математических моделей, позволяющих вырабатывать обоснованные организационные и управленческие решения в заданном направлении, основываясь на учете вклада в общий показатель эффективности отдельных проводимых мероприятий. Мероприятия прогнозирования готовности пожарных сил и средств на объектах ТЭК распределены по уровням значимости относительно главной выбранной цели.

[5]. Поэтому модели, описывающие динамику изменений их готовности заданного объекта ТЭК, следует выстраивать не только на основе рассмотрения переходов между различными состояниями моделируемой системы, но и с учетом вклада каждого из переходов в общий уровень готовности. Для этого следует прежде всего рассматривать возможные состояния готовности пожарных сил и средств объектов ТЭК, исходя из различий по степени их готовности, устанавливаемых в результате проведения их мониторинга [5]. Будем здесь и далее

под словом «система» понимать систему пожарных сил и средств объекта ТЭК.

Известно, что при функционировании в заданных условиях оцениваемая система (система, в которой проходят мероприятия и осуществляется мониторинг) совершает переходы между отдельными состояниями, которые можно охарактеризовать как прямые и обратные.

При этом «прямые» переходы вызваны возникновением и выявлением неисправностей в системе пожарных сил и средств объекта ТЭК в ходе их эксплуатации [6]. А «обратные» являются следствием проведенных восстановительных мероприятий. Определение алгоритма расстановки приоритетов в очередности таких мероприятий при существующих ограничениях человеческих и финансовых ресурсов является одним из элементов выстраиваемого средства поддержки управления. Его применение будет основано также на учете интенсивности восстановления пожарных сил и средств при условии их нахождения в заданном состоянии готовности и учете интенсивности событий выявления не-

готовых их единиц, которые могут впоследствии привести к пожарам и взрывам.

Для количественного описания в системе переходов следует использовать различные факторы оценки, связанные факторами эксплуатации (типа сил и средств, срок эксплуатации, климатические и иные условия применения, агрессивность среды и т.п.). Примем во внимание особенности применения математического аппарата теории случайных процессов Марковского типа с дискретными состояниями при моделировании пожарных рисков в социотехнической системе [7]. Учитывая, что отдельные возможные состояния рассматриваемой системы поддаются перечислению, а переходы между ними происходят мгновенно, моделируемый процесс переходов можно рассматривать, как случайный процесс с дискретными состояниями. А так как моменты переходов из одного состояния в другое случайны, то динамику изменения готовности пожарных сил и средств на объекте ТЭК с применением стратегического планирования удобно проводить еще и с непрерывным временем.

Если принять, что данный процесс является Марковским, то анализ работы системы можно существенно упростить. При этом известно, что такие процессы являются случайными без последствий. Иными словами, для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в системе в заданный момент времени зависят только от состояния этого процесса в данный момент, и не зависят от времени, когда система оказалась в этом состоянии.

Обычно вероятность искомой степени готовности пожарных сил и средств объекта ТЭК в любой рассматриваемый промежуток времени не зависит от степени их готовности в прошлом. Следовательно, вероятностное моделирование такой системы можно вести с использованием аппарата Марковских моделей.

Дискретные состояния рассматриваемой системы определяются рядом критериев, отражающих события, связанные с потенциальным выявленным в результате мониторинга отказом единицы пожарного оборудования или его восстановлением ремонтной бригадой. Для простоты на первом этапе можно пренебречь вероятностью одновременного выявления и ремонта двух и более единиц оборудования. Тогда переход в новое состояние при функционировании модели будет связан с условным «отказом» и безусловным восстановлением данной единицы. А определение наличия того или иного состояния системы будет возможно по заданным величинам выбранных критериев оценки.

Рассчитаем количественные оценки, учитывая, что нам важен не только сам факт возникновения события,

ведущего к восстановлению единицы пожарных сил и средств, но и порядок этого восстановления. Тогда число возможных состояний для одной единицы оборудования, имеющей n состояний, системы может определяться как число размещений для n его исправных состояний и k выявленных

$$A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}, \quad (1)$$

$$\tilde{N}_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

А общее число состояний будет определяться исходя из количества N_s единиц оборудования

$$N_s = \sum_{k=1}^n \frac{n!}{(n-k)!}. \quad (2)$$

В тех случаях, когда порядок восстановления не имеет принципиального значения, вместо размещений можно использовать сочетания. В этих случаях количество состояний оборудования при обнаружении его состояний, которые могут привести к опасным последствиям, будет определяться так

$$\tilde{N}_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}. \quad (3)$$

А общее число этих состояний для заданной i -той единицы оборудования

$$N_s^i = \sum_{k=1}^n \frac{n!}{k!(n-k)!}. \quad (4)$$

При подобном упрощении число состояний для i -той единицы оборудования в графе динамики готовности

пожарных сил и средств будет определяться как $k!$, исходя из количества возможных угроз при выявленных нарушениях обслуживания или восстановления.

Теперь еще раз проясним ситуацию с пожарными силами и средствами. Каждый объект ТЭК включает в себя большое количество территориально разнесенных объектов, которые имеют свои средства оповещения о пожаре — датчики АСПВБ первого уровня информирования, замыкаемые на концентраторы и контроллеры пожарной автоматики [8]. Эти подобъекты (участки территории, здания, сооружения и их группы, цеха, колонны, резервуары, хранилища и т.п.) имеют свою иерархию. Соответственно можно считать, что за единицу оборудования пожарных сил и средств можно принять все датчики и контроллеры в заданной зоне, считая, что их состояния (исправен — не исправен, проверен — не проверен, и т.п.) будут различными состояниями более крупной единицы (подобъекта ТЭК).

При проведении мониторинга в соответствии с методами стратегического планирования проводится определение итогового заключения о готовности тех или иных частей объекта ТЭК (в соответствии с его иерархией). Результатом данного процесса будет выявление в графе стратегического планирования [9] уязвимостей обеспечения ПБ. Изначально они и будут являться теми состояниями, которые следует учитывать в (4) для каждого из них. В этом случае мы будем иметь укрупненные состояния, которые необходимо будет учитывать при расчёте агрегатного показателя готовности пожарных сил и средств объекта ТЭК.

В случае применения указанной схемы поддержки управления общее число состояний в графе моделирования динамики готовности пожарных сил и средств всего объекта ТЭК необходимо сложить данные из (4) для всех единиц оборудования

$$Z_s = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{n^i} \frac{n^i!}{k!(n^i - k)!} \quad (5)$$

где Z_s — общее число состояний единиц оборудования на объекте ТЭК при определении их готовности;
 n^i — число состояний готовности для i -той единицы оборудования;
 N — общее число единиц оборудования.

Но, так как в реальных условиях число подобных состояний в графе динамики готовности слишком велико, удобно рассматривать построение такого графа в соответствии с иерархией объекта ТЭК для отдельных его частей. Так, например, в цехе, где используется 6 условных единиц оборудования (2 колонны, 2 резервуара с сырьем и 2 накопителя продукции) степень их готовности может определяться исходя из количества выбранных для данного подобъекта выявляемых состояний. Если принять, что каждый из перечисленных составных частей имеет агрегированный показатель готовности, заданный булевой функцией, причем каждый тип оборудования имеет совмещенный контроллер второго уровня АСУТП, то мы имеем для них 12 условных состояний, которые могут быть выявлены в ходе мониторинга. Блок оборудования каждой единицы оборудования (колонн, резервуаров или накопителей) может быть неисправным или исправным.

Если же рассматривать случай, когда неисправны три единицы данного оборудования из шести заданных, то можно говорить для данного подобъекта о 20 возможных состояниях в графе динамики готовности пожарных сил и средств (3). В этом случае расчет числа состояний и переходов между ними следует вести также, как выполнено в [6], только по-другому интерпретируя объекты, для которых ведется расчет (рис. 1).

Пример графа стратегического планирования по аналогии с [9] показывает, каким образом возможна декомпозиция задач мониторинга готовности пожарных сил и средств на объектах ТЭК. Вершины приводимого графа на третьем уровне намеренно показаны связанными с вершинами второго уровня так, что ряд вершин третьего уровня связан с несколькими вершинами второго уровня. Это очевидно объясняется тем, что отдельные звенья пожарных сил и средств, которые применяются в реальных условиях на объектах ТЭК, могут иметь связанные органы управления или информирования второго уровня АСПВБ на различных подобъектах объекта ТЭК. Например, отдельные элементы (наборы датчиков), установленные на накопитель продукции, замыкаются на коммутаторы первого и второго участков. На рис. 2 показано, как это можно осуществить. Черными точками показаны датчики (газовые пожарные извещатели первого уровня АСУТП [10]) и приборы пожарно-контрольные (ПКП). При этом установленные на различных участках ПКП контролируют отдельные части резервуара.

Учитывая, что факты выявления неготовности или иных причин, которые могут привести к опасным ситуациям или пожарам, при эксплуатации установленных на объекте ТЭК сил и средств не всегда имеют такие последствия, будем далее называть их неблагоприятными событиями. Для описания характера динамики устранения возможных последствий таких событий потребуется зафиксировать определенный уровень агрегации для выбранных к обработке в системе поддержки управления АСПВБ пожарных сил и средств. При этом примем все задействованные для данного подобъекта ТЭК пожарные силы и средства за агрегированную единицу оборудования соответствующего уровня.

Тогда, применяя на каждом из уровней к каждому из подобъектов объекта ТЭК граф стратегического планирования (рис. 1) можно получить агрегированный показатель готовности пожарных сил и средств на объекте ТЭК для каждого подобъекта (i -той агрегированной единицы оборудования: цеха, колонны, накопителя и т.п.). Для этого необходимо ввести функцию интенсивности потока неблагоприятных событий, выявляемых в ходе мониторинга для i -той единицы агрегированной оборудования

$$\gamma_i = (R_i, T_i, W_i, C_i), \quad (6)$$

где R_i — тип используемых ПКП или иных единиц оборудования;

T_i — срок реальной эксплуатации агрегированной единицы оборудования (помимо этого в сроках могут отдельно отмечаться сроки до наступления даты оче-

редной проверки, срок до окончания срока эксплуатации и т.п.);

W_i — производственные условия эксплуатации (актуально для участков объекта ТЭК с агрессивной средой, сокращающей сроки службы агрегированных единиц оборудования);

C_i — климатические условия в районе эксплуатации.

Так как мониторинг пожарных сил и средств на объекте ТЭК представляет собой поток дискретных во времени событий, то будем считать функцию γ_i дискретной случайной величиной со своей функцией распределения [11]. При этом каждое выявленное неблагоприятное событие становится для графа динамики готовности пожарных сил и средств прямым переводом его в новое состояние. А работа ремонтных бригад объекта ТЭК по устранению этих событий в соответствии с иерархическим планом, определенным графом стратегического планирования, обратным переходом. Интенсивность потока событий восстановления готовности определяется состоянием ремонтных бригад или соглашениями об уровне сервиса (в случае использования услуг сторонних организаций).

Если говорить об общем количестве пожарных сил и средств на объекте ТЭК, требующих ремонта, то следует также определить приоритеты, в соответствии с которыми он будет проходить. Будем при этом основываться на агрегированных единицах оборудования при их постановке.

Тогда для i -той агрегированной единицы пожарного оборудования необходима проверка наличия в очереди на ремонт другой сходной единицы, которую следует восстановить ускоренными темпами. Попарное их сравнение даст возможность установить бригаде приоритет очередности при их обслуживании или ремонте. После каждой такой операции следует проверить условие учёта всех агрегированных единиц пожарных сил и средств, которым необходимы обслуживание или ремонт. Только после этого следует выполнить расчеты для следующей единицы.

Когда будут обработаны все единицы, то следует выбрать агрегированную единицу пожарного оборудования с максимальным приоритетом. Это будет приоритет равный 1. Для данной i -й единицы оборудования будут выполнены восстановительные действия, при этом производительность персонала можно принять равным μ_i .

В этом случае интенсивность потока событий восстановления для каждой из агрегированных единиц пожарного оборудования на заданном уровне иерархии можно задать так [12]:

$$\begin{cases} \mu_{i/ij} = \mu_i * \check{I}_j^i \\ \mu_{i/ijk} = \mu_i * \check{I}_{jk}^i \\ \mu_{i/ijkl} = \mu_i * \check{I}_{jkl}^i \\ \dots \\ \mu_{i/i\dots z} = \mu_i * \check{I}_{j\dots z}^i \end{cases} \quad (7)$$

где под \check{I}_{jkl}^i понимается приоритет ремонта i -й агрегированной единицы пожарного оборудования в приоритете перед j -й, k -й, l -й единицами.

Предполагается, что всего на заданном уровне рассматривается ($z-i$) агрегированных единиц. Поэтому последнее уравнение написано для случая, когда на рассматриваемом уровне имеются от i до z агрегированных единиц оборудования, подлежащих восстановлению. Конкретное состояние, определяющее готовность агрегированных единиц пожарных сил и средств объекта ТЭК на заданном уровне иерархии, заданной графом стратегического планирования, можно записать как вектор состояния. При этом его размерность следует определить исходя из числа всех дискретных состояний, в которых может находиться система на рассматриваемом уровне иерархии (числом строк в системе уравнений (7) плюс 1).

На третьем уровне иерархии в методике прогнозирования готовности пожарных сил и средств на объекте ТЭК в целом (рис. 1) можно использовать формулы, которые затем можно задействовать многократно. Например, в соответствии с планами восстановления готовности пожарных единиц как при их агрегировании (укрупнении), так и при их детализации (движении вниз по уровням). Вероятность пребывания в каждом из рассматриваемых состояний даст, например, для уровня 3 такую формулу

$$P_i^3 = (P_0^3, P_i^3, P_{ij}^3, P_{ijk}^3, \dots, P_{ij\dots z}^3), \quad (8)$$

где P_0^3 — состояние 3-го уровня, при котором все агрегированные единицы исправны;

P_l^3 — вероятности того, что от 1 до z агрегированных единиц на данном уровне будут требовать восстановительных действий.

Если учитывать зависимость всех составляющих (8) от времени, то

$$P_i^3(t) = (P_0^3(t), P_i^3(t), P_{ij}^3(t), P_{ijk}^3(t), \dots, P_{ij\dots z}^3(t)). \quad (9)$$

Соответственно начальное состояние определяется как

$$\begin{cases}
 \frac{dP_0^3}{dt} = -P_0^3 \sum_{i=1}^z \gamma_i^3 + \sum_{i=1}^z P_i^3 * \mu_i, \\
 \frac{dP_i^3}{dt} = -P_i^3 \gamma_i^3 + \sum_{j=1, i \neq j}^z P_{ij}^3 * \mu_{j/ij} - P_i^3 (\mu_i + \sum_{j=1, i \neq j}^z \gamma_j^3), \\
 \frac{dP_{ij}^3}{dt} = P_i^3 \gamma_j^3 + P_j^3 \gamma_i^3 + \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq i, j}}^z P_{ijk}^3 * \mu_{k/ijk} - P_{ij}^3 (\mu_{i/ij} + \mu_{j/ij} + \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq i, j}}^z \gamma_k^3) \\
 \dots \\
 \frac{dP_{ij\dots z}^3}{dt} = P_{j\dots z}^3 \gamma_i^3 + P_{i\dots z}^3 \gamma_j^3 + \dots + P_{i\dots z-1}^3 \gamma_z^3 - P_{i\dots z-1}^3 * (\mu_{i/i\dots z} + \mu_{j/i\dots z} + \dots + \mu_{z/i\dots z} + \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq i, j, \dots, z}}^z \gamma_k^3), \\
 P_0^3 + \sum_{i=1}^z P_i^3 + \sum_{i=1}^z \sum_{j=1, i \neq j}^z P_{ij}^3 + \dots + \sum_{i=1}^z \dots \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq i, j, \dots, z}}^z P_{i\dots z}^3 + P_{1\dots z}^3 = 1
 \end{cases} \tag{11}$$

Рис. 3

$$\begin{aligned}
 P_i^3(0) &= \\
 &= (P_0^3(0), P_i^3(0), P_{ij}^3(0), P_{ijk}^3(0), \dots, P_{ij\dots z}^3(0)). \tag{10}
 \end{aligned}$$

Тогда для 3-го уровня агрегированных единиц пожарного оборудования уравнения готовности пожарных сил и средств соответствующего подобъекта ТЭК могут задаваться уравнениями Колмогорова [11](см. рис. 3):

Анализ результатов

Так как последнее уравнение в приводимой выше системе уравнений (11) отражает тот факт, что рассматриваемая система всегда находится в каком-либо из рассматриваемых состояний, косвенно его можно использовать также и для определения вклада каждого из предполагаемых мероприятий восстановления в общий агрегатный показатель готовности пожарных единиц третьего уровня. Последнее удобно использовать для прогноза готовности пожарных сил и средств при управлении в АСУТП.

Учитывая, что при управлении мероприятиями ПБ на объекте ТЭК динамика определяется дискретными во времени проверками в ходе мониторинга готовности агрегатных единиц и их составляющих, в интересах упрощения расчета производные в левых частях урав-

нений можно приравнять нулю. В этом случае расчет будет вестись для мгновенных значений вероятностей событий, зафиксированных мониторингом. А вместо зависящих от времени вероятностей в правой их части использовать предельные значения последних. Это даст верхнюю оценку готовности.

Заключение

Приводимая модель прогнозирования готовности пожарных сил и средств может быть перенесена не только на любой из уровней объекта ТЭК, но и на более крупные объекты. С этой целью ее целесообразно применять в иерархических системах поддержки принятия решений, декомпозируемых с помощью графов стратегического планирования. Автоматизированное применение таких расчетов в АСПВБ существенно улучшит качество управления мероприятиями ПБ.

Практическая реализация мониторинга пожарных сил и средств с учётом методов стратегического планирования в виде программного модуля-инструмента для ЛПР обеспечит наиболее быстрое получение информации о необходимости ремонта единицы противопожарного оборудования на различных участках и, как следствие, повысит уровень ПБ на объектах и подобъектах ТЭК.

ЛИТЕРАТУРА

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. 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.— 2018.— Т. 27.— №. 11.— С. 15–22.

3. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М.: МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
4. Hammond J. S., Keeney R. L., Raiffa H. Smart choices: A practical guide to making better decisions. — Boston: Harvard Business School Press, 1999. — 272 p.
5. 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.
6. 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). — С. 17.
7. Прус Ю. В., Колесникова А. Р., Клепко Е. А., Шаповалов В. М., Моделирование структуры и динамики техногенных и пожарных рисков в социотехнических системах // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 4(56). — С. 16.
8. Vogue R. Sensors for fire detection // Sensor Review. — 2013. — Vol. 33, No. 2. — P. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
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. 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.
11. Вентцель А. Д., Курс теории случайных процессов. — М.: Наука, 1996. — 400 с.
12. Гельфанд И. М. Лекции по линейной алгебре // М.: Добросвет: Издательство «КДУ». — 2006. — 320 с.

© Прус Юрий Витальевич, Крючков Алексей Вячеславович (kruchkov.a@gubkin.ru),
Самарин Илья Вадимович (ivs@gubkin.ru), Строгонов Андрей Юрьевич.
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»