

- подсистема привязки абонентов.

Информационная система предназначена для:

- визуализации данных по потребителям (акты, срочные донесения, заявки на подключение);
- хранения оперативной информации;
- составления отчетов, ведомостей, договоров;
- хранения архивных данных.

Все данные формируются автоматически. Пользователь (техник, инженер) вносит в систему нужную информацию и выбирает нужный ему отчет. Предусмотрена выгрузка в Excel. Печатные формы состоят из двух частей: заголовка и таблицы. В табличной части печатаются данные, полученные в результате выполнения запроса к информационной системе. Заключенные договора оформляются в печатном виде и вносятся в систему в виде фото.

Приобретение и конфигурирование новой информационной системы по анализу нагрузок в сетях обойдется организации дороже, чем модернизация собственной информационной системы. Дешевле и удобней разработать дополнительные программные модули в имеющейся

информационной системе SAP-U. Поэтому модернизация собственной информационной системы будет лучшим способом решения задач по ведению балансовой ведомости с наименьшими трудовыми и денежными затратами.

Особенно важно в энергетике, чтобы принимаемые решения о стратегии и тактике развития инфраструктуры были тщательно продуманы и обоснованы. На сегодняшний день принятие решений в энергетике управляющими, инженерами основано на опыте и интуиции руководителей. Наличие большого количества прямых и обратных связей в энергетике, приводит к необходимости обеспечения информационно-аналитической поддержкой принятия решений.

Поставленная цель достигнута, выполнен необходимый перечень работ и приобретены навыки решения поставленных задач средствами и инструментами информационных технологий.

В процессе исследования предметной области определен алгоритм деятельности компании в энергетике и принято решение о создании дополнительных программных модулей. Построена информационная система расчета нагрузки в электрических сетях.

#### Список литературы

1. Kvyatkovskaya I. Yu., Shurshev V. F., Berezhnov G. V., Lezhnina Yu. A., Modified Algorithm of Information Retrieval Based on Graph Model and Latent Semantic Analysis // World Applied Sciences Journal Vol. 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), IDOSI Publications, 2013. – С. 250-255.
2. Бялецкая Е. М., Лежнина Ю. А. Методика проведения оценки качества работы управляющей компании в жилом доме // Концепт. 2013. Современные научные исследования. Выпуск 1. ART 53385. – URL: <http://e-koncept.ru/2013/53385.htm>. Гос. рег. Эл. No ФС 77-49965. ISSN 2304-120X.
3. Митченко И. А. Методические основы оценки информационных рисков в предпринимательстве // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2007. № 3. С. 204–211.
4. Дербасова Е. М., Филин В. А. Информационно-управляющий комплекс мобильного минизавода приобъектного базирования ускоренного изготовления строительных блоков // Приборы. 2013. № 12 (162). С. 27–29.
5. Муканова О. Р., Калинин Н. В., Трещева И. М., Россошинский В. А., Муканов Р. В. Использование геоинформационной системы zulthermo для моделирования работы тепловой сети при ее реконструкции или модернизации. В сборнике: IT-technology and process modeling in fundamental and applied research материалы I Международной молодежной школы-конференции. под общ. ред. Д. П. Ануфриева. 2016. С. 146–150.

© Бялецкая Е. М., Дербасова Е. М., Луцев А. С.

#### Ссылка для цитирования:

Бялецкая Е. М., Дербасова Е. М., Луцев А. С. Система анализа балансов электроэнергии и нагрузок на электрических сетях Автоматизация расчета динамических характеристик сложных параметрических структурных схем // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 1 (27). С. 115–123.

УДК 007.52

## ТИПИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**О. М. Проталинский, Т. В. Хоменко**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (г. Астрахань)  
Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва)*

Условия возникновения аварийных ситуаций сложных технических систем, к которым относятся такие инженерные сооружения как здания, буровые платформы и другие объекты, обусловлены, в том числе, постоянно изменяющимися внешними факторами, поэтому возникает необходимость мониторинга процесса эксплуатации сложных технических систем, согласно ужесточающимися требованиями к надежности и безопасности технических систем. Известные методы анализа риска аварий с использованием вероятностных оценок весьма трудоемки, требуют большого количества исходных данных и высокой квалификации исполнителей, что является проблемой при разработке автоматизированных систем оценки риска аварийных ситуаций в условиях недостаточного объема и неопределенности исходной информации. В работе предлагается мето-

дика типизации процедур оценки показателей аварийных ситуаций сложных технических систем, что является теоретической платформой для разработки системы автоматизированного проектирования системы оценки риска аварийных ситуаций в условиях недостаточного объема и неопределенности исходной информации.

**Ключевые слова:** автоматизированная система проектирования, оценки риска, состояния объекта, факторы, аварийная ситуация, база правил, операторы

## TYPIZATION OF AUTOMATED DESIGN PROCEDURES OF THE EVALUATION SYSTEM INDICATORS OF EMERGENCY SITUATIONS COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

*O. M. Protalinsky, T. V. Khomenko*

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (Astrakhan)*

*National research University (Moscow)*

Conditions for emergency situations of complex technical systems, such as buildings, drilling platforms and other objects, are caused, among other things, by constantly changing external factors, therefore there is a need to monitor the process of operation of complex technical systems, according to stricter requirements for reliability and security technical systems. Known methods of analyzing the risk of accidents using probabilistic assessments are very laborious, require a large amount of source data and highly skilled performers, which is a problem when developing automated systems for assessing the risk of emergency situations in conditions of insufficient volume and uncertainty of the initial information. The paper proposes a methodology for typing procedures for assessing emergency indicators of complex technical systems, which is a theoretical platform for developing a computer-aided design system for emergency risk assessment in the context of insufficient volume and uncertainty of initial information.

**Keywords:** design automation system, risk assessment, object conditions, factors, emergency, rule base, operators

Ужесточение требований к надежности и степени безопасности технических систем и устройств влечет расширение всесторонних исследований всевозможных условий возникновения аварийных ситуаций. Такие исследования особенно важны для повышения безопасности эксплуатации и снижения аварийности сложных технических систем, таких как суда, буровые платформы, здания и другие инженерные сооружения. Основа причин аварий – это истечение срока эксплуатации технических устройств, несвоевременное техническое обслуживание, несоблюдение обслуживающим персоналом технологической и производственной дисциплины [1].

Известные методы анализа риска аварий, основанные на расчете вероятностных оценок трудоемкости, ресурсоемкости и требуют высокой квалификации исполнителей, что является проблемой при разработке автоматизированных систем оценки риска аварийных ситуаций в условиях неопределенности и ограниченности исходной информации. Решение поставленной задачи основано на применении многофакторного анализа риска с использованием экспертных систем, использующих приближенные, но достаточно эффективные способы описания слабоформализуемых систем и ассоциативно-ориентированная модель выявления принад-

лежности текущего состояния объекта к различным состояниям, в частности, «близкое к аварийному».

Рассматриваемые в работе факторы разделены на два класса [2]:

- факторы, которые вызывают аварийную ситуацию;

- факторы опасности, которые являются только одной причиной из звеньев цепи отказа. В свою очередь, факторы, вызывающие аварийную ситуацию, разделены на следующие группы: параметрические, технологические, технические, аппаратурные, субъективные; факторы опасности разделены на две группы: параметры состояния объекта, измеряемые традиционным способом; параметры, которые не поддаются непосредственному измерению, представленные в виде текстового описания, таблиц, диаграмм и экспертных оценок. Причём, степень влияния каждого фактора опасности возникновения отказа учитывается путем введения весовых коэффициентов (рангов) на основе экспертных оценок.

По каждому из факторов выделяются опасные внешние воздействия, действующие на оборудование и технологические процессы, протекающие в зданиях: коррозия, усталостные явления в материалах и сварных соединениях, механические повреждения, отклонение параметров от рабочих значений, ошибки персонала и т. д. (рис. 1).

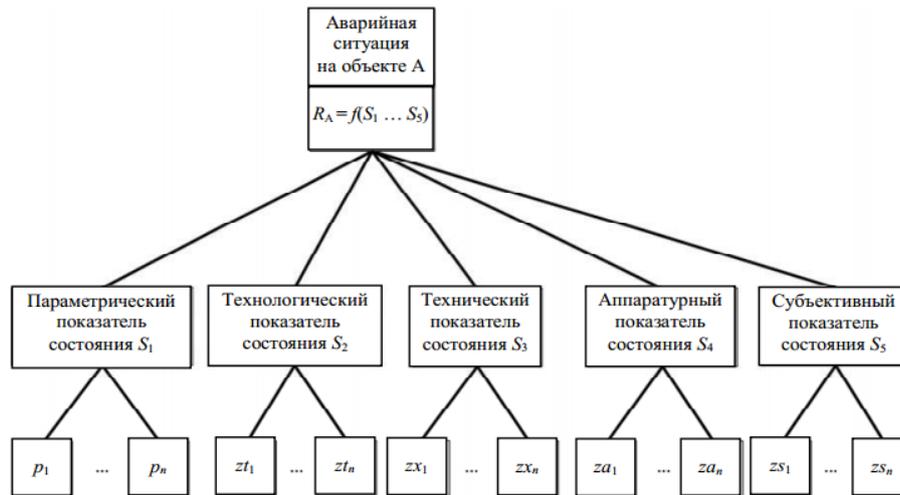


Рис. 1. Модель анализа риска возникновения аварийных ситуаций

Количество параметров, значимых для возникновения отказов и аварий оборудования, определяется в результате опроса экспертов.

К первой группе, так называемых параметрических факторов  $P(p_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ), относятся параметры технологического процесса, измеряемые стандартным способом: концентрация, температура, давление, масса, расход и т. д.

Для учета параметрических факторов, измерение которых предполагается в реальном времени требуется формирование блока расчетов параметрических показателей объекта  $S_1$ .

Ко второй группе технологических факторов  $ZT(zt_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ), относятся дефекты изготовления оборудования, качество материалов, коррозионная стойкость трубопроводов, арматуры и оборудования, износ оборудования.

Третья группа технических факторов  $ZX(zx_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ), определяет тип оборудования, и его соответствие техническим условиям.

Четвёртая группа аппаратурных факторов  $ZA(za_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ), определяет качество и точность работы измерительных приборов, средств автоматики.

К пятой группе субъективных факторов  $ZS(zs_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ), относятся ошибочные действия человека, неправильная организация технического обслуживания и ремонта.

Для оценки состояния объекта по всем пяти группам факторов, представленных в виде лингвистического описания, требуется формирование блоков расчета вышеперечисленных показателей состояния объекта.

При оценке состояния объекта по факторам опасности в реальном времени стандартным способом, используют показатель технического состояния, непосредственно зависящий от параметров технологического процесса, измеряемых традиционным способом. Под оценкой параметрического показателя технического состояния будем понимать, что объект находится либо в нормальном, либо предаварийном, либо аварийном состоянии. При этом параметрический показатель является непрерывной величиной, зависящей только от непрерывных переменных, т.е. представляет собой непрерывную функцию непрерывных аргументов  $S_1 = f(p_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ).

Параметры технологического процесса образуют вектор  $P(p_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ), величина которого будет определять параметрический показатель.

Для придания каждому из параметров технологического процесса веса, отражающего его значимость в ходе определения  $S_1$ , предлагается использовать результаты опроса экспертов. Каждый параметр может иметь одну или две зоны опасных значений:  $H$  и  $L$  (рис. 2).

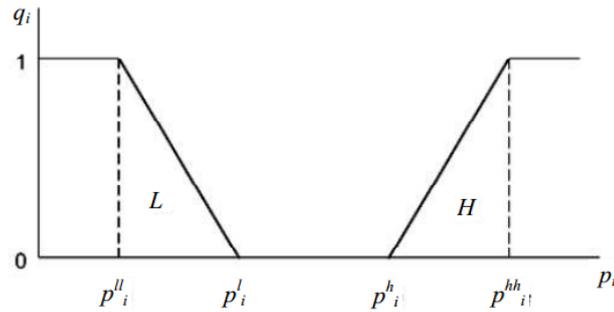


Рис. 2. Нормирование параметров

Преобразование текущих значений параметра  $p_i$ , где  $1 < i < n$ , в безразмерную величину  $q_i$  выполняется по формуле (1):

$$q_i = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i < p_i^{ll}, \\ \frac{p_i^l - p_i}{p_i^l - p_i^{ll}}, & \text{если } p_i^{ll} < p_i < p_i^l, \\ \frac{p_i - p_i^h}{p_i^l - p_i^h}, & \text{если } p_i^h < p_i < p_i^{hh}, \\ 1, & \text{если } p_i > p_i^{hh} \end{cases} \quad (1)$$

где  $p_i$  – текущее значение параметра;  $p_i^l, p_i^h$  – предупредительные значения параметра;  $p_i^{ll}, p_i^{hh}$  – предельно допустимые значения параметра.

В результате все параметры  $p_i$  являются безразмерными и изменяются в диапазоне  $\{0, 1\}$  (рис. 2).

Значение параметрического показателя определяется [3] согласно логико-вероятностной оценки (2):

$$S_1 = q_1 + q_2 \cdot (1 - q_1) + q_3 \cdot (1 - q_2) + \dots + q_n \cdot (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot \dots \cdot (1 - q_{n-1}) \quad (2)$$

Для определения влияния отдельного параметра технологического процесса на параметрический показатель используются весовые коэффициенты  $r$ , которые находятся на основе метода экспертных оценок. Весовой коэффициент – это целое число, отражающее значимость одного параметра по сравнению с другими параметрами.

На основании полученных данных вектор параметров формируется повторно, включая столько раз значений каждого технологического параметра, сколько того требует его весовой коэффициент.

Технологический процесс, использующий факторы опасности, учитываемых при оценке технологического, технического, аппаратурного и субъективного показателей состояния объекта, представляются следующей теоретико-множественной моделью [4]:

$$Z = \{z_i(F, w, k)\}, I = \overline{1, n},$$

где  $z_i$  –  $i$ -й фактор опасности;  $F$  – оценка фактора опасности;  $k = \{\text{«низкий»}, \text{«средний»}, \text{«высокий»}\}$  – уровень доверия к оценке фактора опасности;  $w$  – степень влияния на формирование отказа и аварии.

При этом показатель состояния объекта  $S$  есть функция оценок факторов опасности  $S = f(z_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Влияющие факторы рассматриваются

как лингвистические переменные, которые заданы на соответствующих универсальных множествах при помощи лингвистического терм-множества.

На основе диапазона изменения оценок факторов, входящих в дерево аварийных ситуаций, образуется универсальное множество  $U$ . Каждый из терминов формализуется нечетким множеством  $Y$ .

Задав конечное множество в виде  $U = \sum_{i=1}^n u_i$ ,

определяется нечеткое множество  $Y = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{u_i}$ ,

где  $u_i$  –  $i$ -й элемент множества  $U$ ;  $\mu_i$  – функция принадлежности элемента  $u_i$  нечеткому множеству  $Y$ ,  $0 \leq \mu_i \leq 1$ .

В описании факторов опасности (1) используется  $w$  – степень влияния на показатель состояния объекта. Диапазон влияния принят  $0 \leq w \leq 1$ . При  $w = 0$  фактор не учитывается, при  $w = 1$  фактор непосредственно влияет на аварийных ситуаций в системе.

Чтобы оценить показатели состояния объекта  $S_2, S_3, S_4, S_5$  по влиянию факторов опасности  $Z(z_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ) используют продукционную базу



знаний, включающую в себя базу данных и базу логических правил типа ЕСЛИ – ТО.

Базы данных факторов  $ZT, ZX, ZA, ZS$  формируют на основе экспертных оценок параметров  $z_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), на основании результатов диагностики оборудования и состояния зданий, а также нормативных актов.

Чтобы определить показатели состояний объекта  $S_2, S_3, S_4, S_5$  необходимо ввести лингвистическую переменную «состояние объекта по фактору»  $G$ . Терм-множество представить двумя элементами: «нормальное»  $g_1$ , «близкое к аварийному»  $g_2$  на универсальном множестве  $\{0, \dots, 10\}$ . При этом нечеткие множества «нормальное» и «близкое к аварийному» подразумеваются как дополнения друг к другу [5], и соответственно функция принадлежности имеет вид:

$$\mu_{g_1} = 1 - \mu_{g_2}.$$

База правил формируется на основании экспертных оценок. В зависимости от сложности

описания технологического процесса базу правил можно формировать как для «нормального» состояния, так и для «близкого к аварийному» состоянию. Учитывая, что в технологических регламентах, правилах, инструкциях по эксплуатации оборудования диапазон изменения параметров технологического процесса и требования к обслуживанию оборудования указаны для нормальной и безопасной эксплуатации оборудования, сформируем базу правил для «нормального» состояния. Она и будет иметь вид: ЕСЛИ качество материалов «выше среднего», техническое состояние объекта «хорошее», ТО состояние объекта «нормальное», ИНАЧЕ состояние объекта «близкое к аварийному».

Если в системе определено  $n$  факторов  $z_i$  и определено множество  $G$ , причем  $z_i$  описывается лингвистическими переменными  $z_{ij}$  ( $j = \overline{1, k}$ ), а  $G$  – переменными  $g_1, g_2$ , то набор правил будет иметь следующий вид (рис. 3):

ЕСЛИ  $z_{11}$  и  $z_{21}$  и ... и  $z_{i1}$ ,  
или ЕСЛИ ... ,  
...  
или ЕСЛИ  $z_{1k}$  и  $z_{2k}$  и ... и  
ТО  $g_1$ ,  
ИНАЧЕ  $g_2$ .  
Формализуя, получим:  
  
ЕСЛИ ( $z_{11} \cdot z_{21} \cdot \dots \cdot z_{i1}$ )  
или ЕСЛИ (...)  
...  
или ЕСЛИ (...),  
ТО  $g_1$ ,  
ИНАЧЕ  $g_2$ .

Рис. 3. Набор правил

На основе полученного набора правил традиционно строится матрица нечеткого отношения

$$R = g_1 \cdot \sum_{j=1}^k \prod_{i=1}^n z_{ij}.$$

Имея матрицу нечеткого отношения  $R$ , можно определить текущее состояние как

$$G_{тек} = z_{imme} \circ R, \text{ где } \circ \text{ – операция композиции.}$$

Принадлежность текущего состояния объекта по каждому фактору  $ZT, ZX, ZA, ZS$  к аварийному состоянию определяется функцией принадлежности  $\mu_k^{G_{тек}}$ , рассчитанной для каждого  $ZT, ZX, ZA, ZS$ :

$$\mu_{Z_{Nme}}^{Z_{Ni}} = \sum_{j_N=1}^{j_{ZN}} (\mu_{j_N}^{Z_{Ni}} * \mu_{j_N}^{Z_{Nme}}), \quad (3)$$

где  $k$  – количество элементов нечеткого множества,  $j_{ZN}$  – количество элементов нечеткого множества, описывающего  $ZN$ -й параметр в правиле  $i$ .

Для выявления принадлежности текущего состояния объекта к состоянию «нормальное» и/или «близкое к аварийному» по каждому правилу  $t$  предлагается ассоциативно-ориентированная модель, представленная в виде параллельной сетевой схемы и определяемая кортежем [6]:

$$PC = (G(V, D), S, A, E, C), \text{ где:}$$



$V$  – множество операторных вершин, содержащее подмножества: вершин  $V^F$  присваивания,  $V^R$  распараллеливания,  $V^L$  соединения;

$D$  – множество дуг, содержащее подмножества: дуг  $D^P$  разветвления, дуг  $D^R$  распараллеливания, дуг  $D^L$  соединения;

$S$  – множество составных операторов, содержащее подмножества:  $S^F$  составных операторов задач,  $S^R$  составных операторов распараллеливания,  $S^L$  составных операторов соединения;

$E$  – множество условных операторов, содержащее подмножества:  $E^F$  обобщенных условных операторов выполнения задач,  $E^R$  условных операторов распараллеливания,  $E^L$  условных операторов соединения.

$A$  – отображение  $V \rightarrow S$ ,  $C$  – отображение  $D \rightarrow E$ .

Операторы  $s_i^F \diamond S^F$ ,  $s_i^R \diamond S^R$ ,  $s_i^L \diamond S^L$ ,  $e_i^P \diamond E^P$ ,  $e_i^R \diamond E^R$ ,  $e_i^L \diamond E^L$  имеют вид:

$$s_i^F = \text{Hz}_j R_i c, \quad s_i^R = \text{Hz}_j R_i c, \quad s_i^L = \text{Hz}_j R_i c, \quad (j = \overline{1, r})$$

$$e_i^P = \text{H}p_{q_m} M_i c, \quad e_i^R = R_i, \quad e_i^L = L_i$$

$$(m = \overline{1, k})$$

Вершины  $V^R$  инициируют действия, позволяющие переход к нескольким следующим задачам, которые могут выполняться независимо друг от друга с произвольным сдвигом во времени. Вершины  $V^L$  инициируют действия, которые разрешают переход к другим задачам только тогда, когда все предыдущие выполнены.

При выполнении соответствующих алгоритмов с использованием взвешенных формул вида:

$$s_i \rightarrow e_i m + 1 \langle z_l \rangle^{s_q}$$

где  $m + 1 \langle z_l \rangle^{s_q}$  – составной оператор задач, помеченный символом  $s_q$ ,  $z_{m+1} = (M_i | R_i | L_i)$ , каждому составному оператору ставится в соответствие вес  $w = 1$ ; для  $e_i^P$  –  $w = n_1 + 1$ , где  $n_1$  – количество операторов  $p_{q_i}$ , образующих конъюнкцию обобщенного условного оператора; для  $e_i^R$  –  $w = n_2$ , где  $n_2$  – количество ветвей распараллеливания; для  $e_i^L$  –  $w = 1$ .

Процесс выявления принадлежности текущего состояния объекта к состоянию «нормальное» и/или «близкое к аварийному» считается завершённым в том и только в том случае, если сумма весов всех формул перехода равна 0:

$$\sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^k t_{ij}(e_i, s_i) = 0$$

где  $i$  –  $i$ -й терм  $j$ -й отмеченной формулы перехода,  $k$  – число термов  $j$ -й формулы,  $r$  – ранг системы отмеченных формул.

Чтобы смоделировать функционирование абстрактной ассоциативной машины рассмотрим геометрическую интерпретацию бинарного отношения « $\diamond$ », которое задано на множестве пар элементов множества  $S$ .

Отношение записывается в виде ассоциации:

$$s_i \diamond \zeta \rightarrow s_j, \left\langle \begin{matrix} z_l \\ l=1 \end{matrix} \right\rangle^{m+1}$$

где – один из трех типов условных операторов множества  $E$ . Пара  $(s_i, \diamond)$  задает признак ассоциации, а пара  $(s_j, \left\langle \begin{matrix} z_l \\ l=1 \end{matrix} \right\rangle^{m+1})$  – значение ассоциации.

Абстрактная машина имеет бесконечную вправо ленту памяти, разделенную на четыре части, головки считывания/записи и устройство управления. В первой части ленты запоминается цепочка символов входного алфавита, образованного операторами множества  $E$ , во второй – список признаков текущих ассоциаций, в третьей – описание работы абстрактной машины, в четвертой, служебной, – имена ассоциаций, участвующих в формировании условных значений ассоциаций.

Заключение.

Применение многофакторного анализа риска с использованием экспертных систем и ассоциативно-ориентированную модель отображает выявление аварийных ситуаций. Достоинством этого подхода является формирование теоретической платформы для разработки автоматизированной системы учета основных факторов, влияющих на формирование аварийных ситуаций технических систем, среди которых могут быть как традиционные параметры технологических процессов, так и параметры, которые не поддаются непосредственному измерению.

Изменяя входные параметры модели, зависящие от технической системы, результатов диагностики оборудования и экспертных оценок, можно определить уровень риска аварийных ситуаций и давать сравнительную оценку надежности и безопасности сложных технических систем, таких как суда гражданского флота, стационарные и плавучие буровые платформы, здания и другие инженерные сооружения. На основании этого можно принимать решения по снижению риска аварийных ситуаций на объектах с учетом затрат на их предупреждение.

#### Список литературы

1. Елохин А. Н. Анализ и управление риском: теория и практика. М. : ПолиМЕдиа. 2012. 192с.

2. Проталинский О. М., Немчинов Д. В. Система поддержки принятия управленческих решений по снижению рисков аварийных ситуаций на промышленных объектах // Автоматизация в промышленности. 2010. № 3. С. 13–16 с.
3. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса». 2004. 216 с.
4. Хоменко Т. В. Обобщенная математическая модель формирования критерия оценивания для решения задачи выбора технических решений Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2013. Т. 19. № 2. С. 271–277.
5. Проталинский О. М., Щербатов И. А., Ханова А. А. Адаптивная система прогнозирования надежности технологического оборудования объектов энергетики // Информатика и системы управления. 2019. № 1 (59). С. 93–105.
6. Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Кириллов С. Ю. Автоматизация проектирования потоков работ в промышленном производстве // Автоматизация процессов управления. 2019. № 1 (55). С. 57–65.

© Проталинский О. М., Хоменко Т. В.

**Ссылка для цитирования:**

**Проталинский О. М., Хоменко Т. В.** Типизация процедур автоматизированного проектирования системы оценки показателей аварийных ситуаций сложных технических систем // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 1 (27). С. 123–129.

УДК 621.311

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН**

**С. С. Таргачев\*, И. С. Просвирина\*\***

\*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

\*\*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Выполнен анализ наиболее перспективных возобновляемых источников энергии на характер использования их на территории республики Дагестан. Даны обоснования неэффективности использования ветровых генераторов. Выведены варианты структуры математической модели теплового режима здания. На основе принятой математической модели для теплового режима, выведены математические модели солнечного коллектора и теплового насоса, с учетом их зависимостей. Математическая модель солнечного коллектора получена для приблизительной работы в условиях двух суток августа. Математическая модель теплового насоса дает возможность регулирования работы теплового насоса, тем самым обеспечивая экономичность работы системы с высокой эффективностью.

**Ключевые слова:** математическая модель, тепловая защита здания, ветровой генератор, солнечный коллектор, тепловой насос.

**MATHEMATICAL MODEL OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES  
FOR LOW-RISE CONSTRUCTION IN THE REPUBLIC OF DAGESTAN**

**S. S. Targachev\*, I. S. Prosvirina\*\***

\*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

\*\*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

The analysis of the most promising renewable energy sources on the nature of their use in the Republic of Dagestan. The substantiation of the inefficiency of the use of wind generators is given. The variants of the structure of the mathematical model of the thermal regime of the building are derived. On the basis of the adopted mathematical model for the thermal regime, derived mathematical models of the solar collector and heat pump, taking into account their dependencies. The mathematical model of a solar collector is received for approximate work in the conditions of two days of August. The mathematical model of the heat pump makes it possible to regulate the operation of the heat pump, thereby ensuring the efficiency of the system with high efficiency.

**Keywords:** mathematical model, thermal protection of the building, wind generator, solar collector, heat pump.

В своей предыдущей работе по актуальности использования альтернативных источников энергии для малоэтажного строительства в республике Дагестан [1], мы выяснили, что наиболее перспективными возобновляемыми источниками энергии в данном регионе являются солнечная, ветровая и геотермальная энергетика. Использование ветрогенераторов, солнечных коллекторов, а также тепловых насосов в данном регионе имеет высокую эффективность и потенциал в сфере нетрадиционной энергетики. Так же использование выше перечисленных альтернативных источников энергии на территории республики перспективно с эконо-

мической точки зрения, как утверждают коллеги из “Института социально-экономических исследований ДНЦ РАН” [1].

Однако, прежде чем рассматривать математические модели возобновляемых источников энергии, сузим наш список нетрадиционных источников [1].

Если рассматривать использование альтернативных источников энергии конкретно для малоэтажного строительства, то не рационально рассматривать ветровые генераторы по ряду причин. А именно:

- а) не удобство в установки на территории малоэтажного строительства;
- б) не приспособленность к эксплуатации ветровых генераторов;