



DOI: 10.18721/JEST.230309

УДК 629.039.58

*В.И. Гуменюк, И.А. Толочко, А.Ю. Туманов*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТА ЭНЕРГЕТИКИ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: СТРУКТУРА МОДЕЛИ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ**

Идентифицированы характеристики объекта энергетики как объекта, подверженного поражающему воздействию чрезвычайной ситуации, а так же особенности процесса моделирования данного воздействия. Раскрыто понятие защищенности применительно к объектам энергетической отрасли. Разработана общая структура модели защищенности объекта энергетики от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций и иерархия моделей, входящих в эту структуру (модели систем, элементов и поражающих факторов чрезвычайной ситуации). Обоснованы методологические принципы анализа состояния защищенности объекта и выбран оптимальный математический аппарат для описания поражающего воздействия. Введены: критерии защищенности технических систем объекта энергетики и его элементов; условие сохранения работоспособности и понятие критического элемента. Разработан общий алгоритм процесса оценки защищенности объекта энергетики от поражающего воздействия чрезвычайных ситуаций.

ОБЪЕКТ ЭНЕРГЕТИКИ; МОДЕЛИРОВАНИЕ; ЧРЕЗВЫЧАЙНАЯ СИТУАЦИЯ; ПОРАЖАЮЩИЙ ФАКТОР; ЗАЩИЩЕННОСТЬ; МОДЕЛЬ ЗАЩИЩЕННОСТИ.

*Ссылка при цитировании:*

В.И. Гуменюк, И.А. Толочко, А.Ю. Туманов. Моделирование защищенности объекта энергетики от чрезвычайных ситуаций: структура модели и математический аппарат // *Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки*. 2017. Т. 23. № 3. С. 101–108. DOI: 10.18721/JEST.230309

*V.I. Gumenyuk, I.A. Tolochko, A.Yu. Tumanov*

Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, Saint-Peterburg, Russian Federation

## **MODELLING THE DEGREE OF PROTECTION OF A POWER ENGINEERING FACILITY IN EMERGENCY SITUATIONS: THE STRUCTURE OF THE MODEL AND MATHEMATICAL TOOLS**

We have identified the characteristics of power engineering facilities as an object which may be damaged in case of emergency situations, as well as the special aspects of modelling this process. The degree of protection has been defined with respect to the power engineering facility. We have created the general structure of the degree of protection of power engineering facilities from the influence of adverse factors in emergency situations and the hierarchy of submodels (models of technical systems, elements and adverse factors). We have proved the methodological principles of analysis of the safe conditions of the power engineering facility and have chosen the optimal mathematical tool for describing the destructive effect. We have created the criteria of the degree of protection of technical systems of the power engineering facility and its elements; the condition of probability of survival and notion of a weak element. We have developed the general algorithm of the estimation procedure of degree of protection of the power engineering facility from adverse factors in emergency situations.

POWER ENGINEERING FACILITY; MODELING; EMERGENCY SITUATION; ADVERSE FACTOR; DEGREE OF PROTECTION; MODEL OF DEGREE OF PROTECTION.

*Citation:*

V.I. Gumenyuk, I.A. Tolochko, A.Yu. Toumanov, Modelling the degree of protection of a power engineering facility in emergency situations: the structure of the model and mathematical tools, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering sciences and technology*, 23 (03) (2017) 101–108, DOI: 10.18721/JEST.230309

**Введение**

Свойство защищенности объекта энергетики от деструктивного воздействия поражающих факторов чрезвычайной ситуации (ПФ ЧС) в основном закладывается на этапе проектирования. Для обоснования конкретных мероприятий по повышению защищенности объекта энергетики или его отдельных систем необходимо изучить и описать характер воздействия ПФ ЧС на вышеуказанные элементы и определить вклад каждого элемента в функционирование объекта энергетики в условиях деструктивного воздействия [1, 2]. Наиболее удобный инструмент для решения данных задач — математическое моделирование.

**Цель исследования** — создание общей модели защищенности объекта энергетики от ПФ ЧС для обоснования мероприятий по повышению их устойчивости к поражающему воздействию.

**Задачи** — разработать структуру модели защищенности объекта энергетики и обосновать выбор применяемого математического аппарата.

**Особенности объектов энергетики, учитываемые при моделировании**

Объект энергетики представляет собой сложную совокупность различных технических систем, оборудования, зданий и сооружений [3]; свойство его защищенности может быть рассмотрено применительно к объекту в целом, подсистемам и отдельным элементам [4–6]. Стоит вопрос о необходимости разработать методику определения вклада элементарных единиц в общий уровень защищенности объекта, а также алгоритм определения достаточности уровня защищенности.

Основные составляющие модели защищенности объекта энергетики и их иерархия приведены на рис. 1.

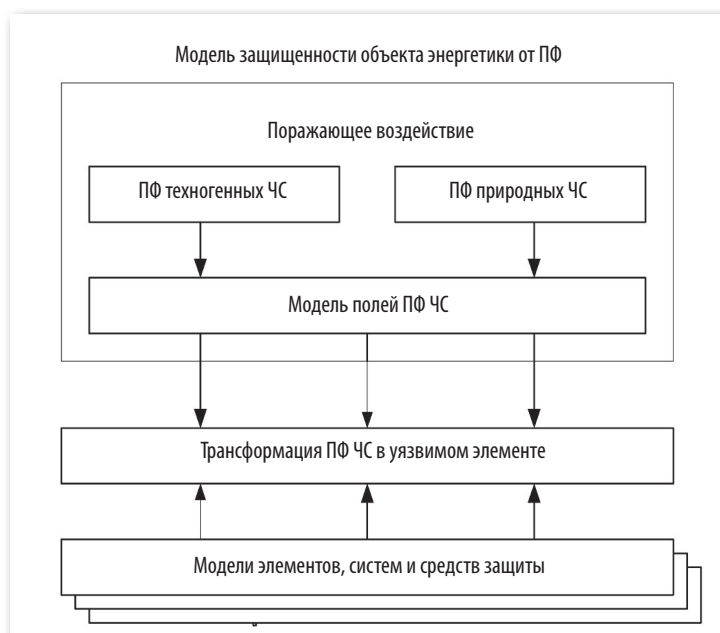


Рис. 1. Основные составляющие модели защищенности объекта энергетики

Fig. 1. The main elements of the model of shelteredness of an energy objects

Модель защищенности элемента формализовано описывает процесс выхода его из строя с течением времени под воздействием действующих нагрузок от ПФ ЧС и в силу внутренних свойств. Элементы могут быть подвергнуты дальнейшей детализации с целью изучения внутренних процессов и явлений, происходящих в них.

Уровни моделирования образованы последовательным агрегированием всех предыдущих уровней путем представления в обобщенном виде их показателей и взаимосвязей.

Модели защищенности подсистем и системы в целом описывают работу объекта энергетики как процесс взаимодействия его элементов при функционировании объекта в различных условиях. Основное содержание модели — описание взаимосвязей элементов, раскрывающее степень влияния их защищенности на защищенность объекта энергетики [7]. То есть в такой модели отражаются только те свойства или характеристики элементов и только те их взаимные связи в системе, которые существенны с позиций защищенности.

Математическая модель защищенности объекта энергетики должна учитывать все существенные факторы, влияющие на ее уровень. К числу таких факторов следует отнести конструктивно-технические и эксплуатационно-технические.

Конструктивно-технические факторы, определяющие защищенность систем объекта энергетики, включают:

структурное построение системы, устанавливающее взаимосвязь элементов и режимы их работы;

конструктивное исполнение элементов, проявляющееся в степени влияния ПФ ЧС на их функционирование, в том числе и с учетом их защищенности.

Эксплуатационно-технические факторы выражаются во внешних воздействиях ПФ ЧС на элементы и систему. По характеру воздействия на уровень защищенности они учитываются при соответствующем определении показателей защищенности элементов [8].

#### Математический аппарат модели

В общем случае математическая модель может быть представлена функционалом [9], уста-

навливающим взаимосвязь между уровнями защищенности системы и ее элементов:

$$\varphi = \Phi \left[ F(r_i, \tau, N), u(r_i, \tau, N, a_j) \right], \quad (1)$$

где  $F(r_i, \tau, N)$  — функциональное представление структуры системы и взаимосвязи элементов в течение времени  $\tau$ ;  $r_i$  — показатель защищенности  $i$ -го элемента;  $N$  — число учитываемых элементов в системе;  $u$  — оператор, учитывающий влияние ПФ ЧС на уровень защищенности системы;  $a_j$  —  $j$ -я характеристика ПФ ЧС;  $\varphi$  — показатель защищенности системы.

Комплекс взаимосвязанных моделей защищенности систем объекта энергетики должен включать:

группу математических моделей отдельных элементов объекта энергетики, в которых в наиболее полной мере учитываются внутренние, специфические для данных элементов факторы;

более общие модели для групп элементов (функциональных подсистем);

обобщенную модель защищенности объекта энергетики.

Анализ процессов воздействия на элементы и способность противостоять этим воздействиям показывает, что все характеристики элементов можно в конечном итоге выразить в явном виде в зависимости от одной и той же совокупности показателей [10,11]. В качестве обобщенной выходной характеристики в моделях элементов можно рассматривать выраженную в количественной форме его способность противостоять поражающим воздействиям, сохраняя нормальное функционирование.

Разработать математическую модель защищенности объекта — значит описать зависимости между защитной способностью, уровнем ПФ ЧС и параметрами состояния элемента. Эти зависимости назовем «моделями защищенности» и представим в обобщающем виде

$$\{\Theta_r\} = \{F_r(x_i, v_k, a_j)\}, \quad (2)$$

где  $\{\Theta_r\}$  —  $r$ -й параметр состояния элемента, определяющий способность нормального функционирования;  $x_i$  — уровень  $i$ -го ПФ ЧС;  $v_k$  — характеристика защитной способности;  $a_j$  — характеристики, связанные с функциональными или конструктивными особенностями элемента.

Унифицированность выражения (2) основывается на следующих положениях [12, 13]:

защищенность, обеспечиваемая элементом любого уровня иерархии, определяется как функционал защищенности более мелких элементов;

защищенность, обеспечиваемая элементом нижнего уровня, определяется как функционал от трех групп переменных параметров — поражающих воздействий, защитной способности элемента и его функциональных и конструктивных особенностей.

При построении модели целесообразно использовать подход «нагрузка — стойкость», где в качестве исходных рассматриваются действующие нагрузки, создаваемые ПФ ЧС, и характеристики элементов объекта, подверженного воздействию. Так, для нагрузки, создаваемой мгновенно действующим ПФ ЧС (например, взрыв),

$$X_i^m = f(q, R, k), \quad (3)$$

где  $X_i^m$  — параметр  $i$ -го ПФ ЧС;  $q$  — мощность источника ПФ ЧС;  $R$  — расстояние от источника до объекта;  $k$  — коэффициент, учитывающий взаимодействие со средой.

Для длительных ПФ ЧС (например, истечение АХОВ)

$$X_i^D = f[q, C_i(x, y), k, t], \quad (4)$$

где  $C_i(x, y)$  — показатель скорости изменения параметра ПФ ЧС во времени в точке с координатами  $x, y$ ;  $t$  — продолжительность воздействия.

Наносимый объекту ущерб представляется в виде события, являющегося детерминированной функцией расчетной схемы величин  $X_i^m$  и  $X_i^D$  и способности объекта противостоять этому воздействию. Объект считается пораженным, если нагрузка превышает его (или его систем) несущую способность, и наоборот. В параметрической форме условие поражения записывается следующим образом:

$$X_i^m > X_{i\text{доп}}^m; \quad X_i^D > X_{i\text{доп}}^D, \quad (5)$$

где  $X_{i\text{доп}}^m, X_{i\text{доп}}^D$  — показатели несущей способности объекта при воздействии  $i$ -го мгновенного или длительного фактора.

Обычно эти показатели называют показателями стойкости.

Стойкостью называется способность (свойство) объекта сохранять параметры, определяющие его нормальную работоспособность, в пределах установленных норм во время и после воздействия ПФ ЧС. Показателями стойкости являются максимальные значения параметров действующих ПФ ЧС, при которых сохраняется нормальное функционирование объекта (допустимые значения параметра  $X_{i\text{доп}}$ ).

Данный подход вполне применим к человеку (персоналу объекта энергетики). Человек как биологический объект также характеризуется стойкостными показателями (допустимыми для него значениями воздействующих ПФ ЧС).

Для созданных объектов стойкость становится их внутренним свойством и может быть изменена только путем модернизации, реконструкции или использования специальных защитных мер.

Показатели стойкости элементов определяют или на натуральных испытаниях с применением средств поражения, или на моделирующих установках, или путем теоретических расчетов с последующей экспериментальной проверкой [14].

В последнем случае исследуется обобщенная модель объекта в виде

$$\{Y_i\} = H\{X_i\}, \quad (6)$$

где  $X_i$  — множество значений ПФ ЧС, характеризующих внешнее воздействие;  $Y_i$  — множество значений параметров, характеризующих реакцию объекта на эти воздействия.

Оператор  $H$  характеризует структуру и свойства объекта; при его помощи каждой реализации внешнего воздействия ставится в соответствие реализация реакции объекта.

#### Критерий защищенности систем объекта энергетики и его элементов

Для определения достаточности защищенности систем объекта энергетики (или элементов), мероприятий по повышению соответствующих характеристик введем критерий защищенности элемента:

$$a \leq Y(X_i) \leq b, \quad X_i = X_{i\text{доп}}, \quad (7)$$

где  $a, b$  — допуски на выходной параметр объекта.

При этом из ряда значений уровней ПФ ЧС, соответствующих допуску параметров, в каче-

стве показателя стойкости выбирают наименьшее граничное значение

$$X_{i\text{доп}} = \min \{X_i^{\text{гр}}\}, Y_i = Y_{i\text{доп}}. \quad (8)$$

Рассматриваемый подход позволяет оценить результаты воздействия как на составные части объекта (блок, узел, агрегат и т. д.), так и на объект (систему) в целом. Показатели, относящиеся к объекту (системе) в целом, называются общими показателями стойкости, а к составным частям и элементам — частными. Для оценки состояния объекта используется принцип «критического элемента», в соответствии с которым стойкость совокупности элементов не может быть ниже уровня стойкости наименее стойких элементов [15], т. е.

$$X_{i\text{доп}} \geq \min \{X_{ij\text{доп}}\}, \quad (9)$$

где  $X_{ij\text{доп}}$  — показатель стойкости  $j$ -го элемента по  $i$ -му ПФ ЧС.

Таким образом, используемый подход состоит из двух основных этапов.

На первом из них вычисляются параметры ПФ ЧС ( $X_i$ ) и предельные значения действующих нагрузок ( $X_{i\text{доп}}$ ). Второй этап состоит в сопоставлении результатов воздействия с допустимыми значениями выходных характеристик объекта или допустимыми значениями параметров ПФ ЧС. На этом этапе выбирается и обосновывается требуемый уровень защищенности.

Защищенность объекта характеризуется количественно при помощи коэффициентов (показателей) защищенности, которые описывают ослабление внешних воздействий на объекты,

$$X'_i = X_i / K^3, \quad (10)$$

или повышение его стойкости,

$$X'_{i\text{доп}} = X_{i\text{доп}} / K^3, \quad (11)$$

где  $X'_i$ ,  $X'_{i\text{доп}}$  — значения действующей нагрузки и ее допустимого значения с учетом защитных мер.

Условие сохранения можно записать в виде

$$K_X^3 = \frac{X_{i\text{доп}}}{X_i} \geq 1; K_R^3 = \frac{R_i}{R_{in}} \geq 1; K_\tau^3 = \frac{\tau_{\text{доп}}}{\tau} \geq 1, \quad (12)$$

где  $K_X^3$ ,  $K_R^3$ ,  $K_\tau^3$  — коэффициенты (показатели) защищенности соответственно по параметру, расстоянию, времени.

Если условия (12) выполняются, то сохранение объекта при воздействии обеспечивается. В противном случае необходимы дополнительные усилия по повышению защищенности. При этом требуемое значение показателя защищенности будет равно (по параметру, например)

$$\left(K_X^3\right)_{\text{треб}} = \frac{1}{K_X^3}, K_X^3 \leq 1, \quad (13)$$

и

$$X_{\text{доп}} \left(K_X^3\right)_{\text{треб}} \geq X, \quad (14)$$

где  $\left(K_X^3\right)_{\text{треб}}$  — требуемое значение показателя защищенности.

Общая структурная схема процесса оценки защищенности от ПФ ЧС, разработанная на основе накопленного к настоящему времени опыта, показана на рис. 2.

Представленная на рис. 2 схема описывает основные этапы процесса оценки защищенности объекта энергетики от поражающего воздействия.

### Выводы

В ходе выполнения очередного этапа исследования путем последовательного агрегирования моделей различных уровней разработана структура модели защищенности объекта энергетики от поражающего воздействия факторов ЧС.

Обоснованы методологические принципы анализа эффективности защиты и выбран математический аппарат для описания взаимодействий между объектом энергетики в целом, его системами и ПФ ЧС различного характера.

На основе общих идей и принципов системного анализа и соответствующей интерпретации образующих его эвристических процедур, сформулирован общий алгоритм для оценки защищенности систем и элементов объекта энергетики.

Введены показатели для оценки уровня достаточности мероприятий по обеспечению защищенности систем и элементов объекта энергетики от ПФ ЧС.

### Заключение

В рамках предложенных теоретических подходов и в соответствии с принципом функциональной декомпозиции разработана структура

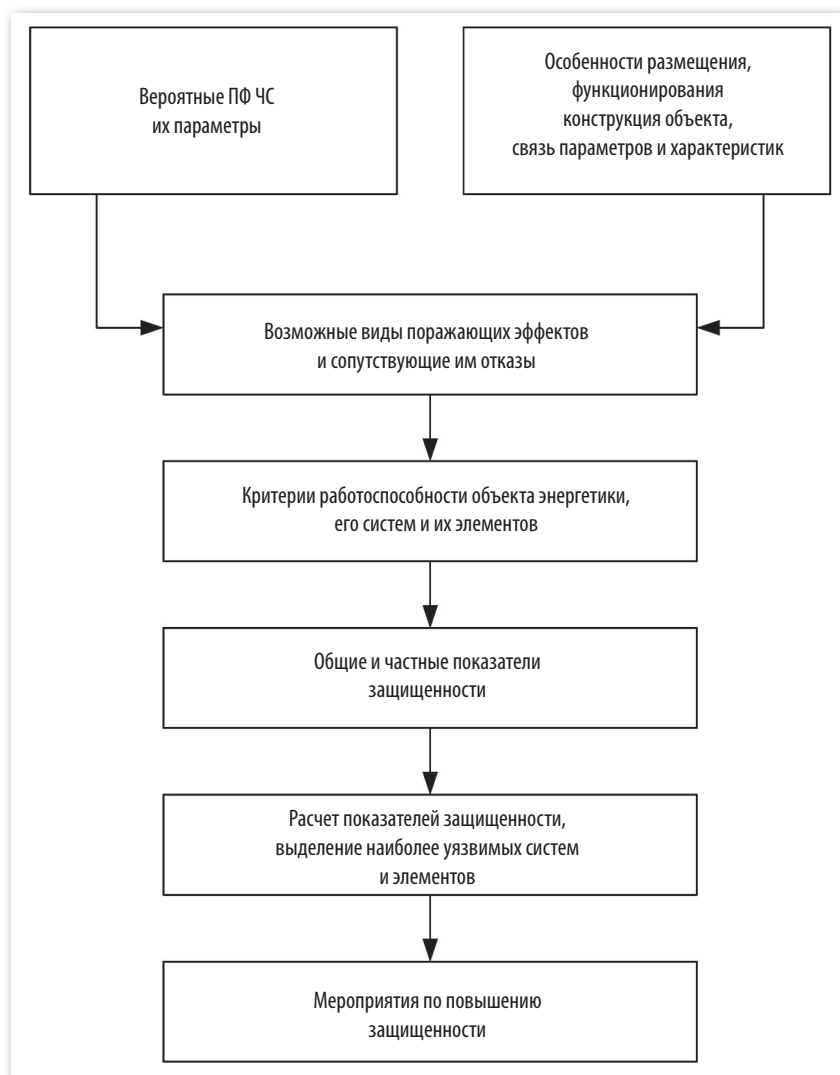


Рис. 2. Схема оценки защищенности объекта энергетики

Fig. 2. The evaluation scheme of shelteredness of an energy object

модели защищенности объекта энергетики от ПФ ЧС; на следующих этапах исследования будут описаны математически структурные эле-

менты данной модели и их внутренние процессы, возникающие при поражающем воздействии факторов ЧС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махутов Н.А., Резников Д.О. Анализ и обеспечение защищенности объектов критических с учетом рисков и предельных состояний // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 5. С. 14–36.
2. Махутов Н.А., Петров В.П., Резников Д.О., Кукусова В.И. Обеспечение защищенности критически важных объектов на основе снижения их уязвимости // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 2. С. 50–69

3. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Неганов Д.А. Риски и безопасность энергетического оборудования // Электрические станции. 2017 № 2(1027). С. 2–9
4. Гуменюк В.И., Туманов А.Ю. Совершенствование методологии оценки риска ЧС природного и техногенного характера на потенциально-опасных объектах энергетики // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2017. № 1. С. 85–97.

5. Левин В.И. Логическая теория надежности сложных систем // М.: Энергоатомиздат, 1985. 128 с.

6. Гуменюк В.И., Туманов А.Ю. Разработка математической модели и методики оценки риска ЧС на потенциально опасном объекте энергетики с их программной реализацией // Технологии гражданской безопасности. 2017. Т. 14. № 1 (51). С. 66–74.

7. Стекольников К.И. Живучесть систем. СПб.: Политехника, 2002. 155 с.

8. Гуменюк В.И., Туманов А.Ю., Толочко И.А. [и др.]. Мониторинг и прогнозирование ЧС природного и техногенного характера объектов экономики // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. ИВТОБ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 11–14.

9. Ang A., Tang W. Probability concepts in Engineering, Planning and Design. Vol. 1. Basic Principles. John Wiley&Sons, Inc. US. 1975. 407 p.

10. Федосов А.В., Маннанова Г.Р., Шипилова Ю.А. Анализ опасностей, оценка риска аварий на опасных производственных объектах и рекомендации по выбору методов анализа риска // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. 2016. № 3. С. 322–336.

11. Махутов Н.А., Резников Д.О. Сопоставительная оценка нормативного и основанного на управлении риском подходов к оценке защищенности сложных технических систем // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2011 № 6. С. 92–98.

12. Махутов Н.А., Петров В.П., Резников Д.О., Куксова В.И. Идентификация определяющих параметров угроз, уязвимости и защищенности критически важных объектов по отношению к превалирующим угрозам природного, техногенного и террористического // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008. № 2. С. 70–77.

13. Ching J. Equivalence between reliability and factor of safety // Probabilistic Engineering Mechanics-2009. № 2(24). P. 159–171.

14. Гуменюк В.И., Кармишин А.М., Киреев В.А. О количественных показателях опасности техногенных аварий // Научно-технические ведомости СПбПУ. 2013. № 2(171). С. 281–288.

15. Гуменюк В.И., Кармишин А.М., Киреев В.А. [и др.]. Общие интегральные представления показателей опасности техногенных аварий // Безопасность в техносфере. 2013. № 6. С. 38–45.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ГУМЕНИЮК Василий Иванович** — доктор технических наук профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. E-mail: vasilij.gumenyuk@mail.ru

**ТОЛОЧКО Иван Александрович** — аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. E-mail: tolochko-ivan@mail.ru

**ТУМАНОВ Александр Юрьевич** — кандидат технических наук доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. E-mail: Toumanov@mail.ru

#### REFERENCES

1. Makhutov N.A., Reznikov D.O. Analiz i obespecheniye zashchishchennosti obyektov kriticheskikh s uchetom riskov i predelnykh sostoyaniy [Analysis and ensuring protection of critical infrastructures taking into account risks and limit states]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy*. 2012. № 5. S. 14–36. (rus.)

2. Maxytov N.A., Petrov V.P., Reznikov D.O., Kuksova V.I. Obespecheniye zashchishchennosti kriticheski vazhnykh obyektov na osnove snizheniya ikh uyazvimosti [Ensuring protection of critical facilities based on vulnerability reduction]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy*. 2009. № 2. S. 50–69. (rus.)

3. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Neganov D.A. Riski i bezopasnost energeticheskogo oborudovaniya [Risks and safety of power-generating equipment]. *Elektricheskiye stantsii*. 2017. № 2(1027). S. 2–9. (rus.)

4. Gumenyuk V.I., Tumanov A.Yu. Sovershenstvovaniye metodologii otsenki riska ChS prirodnogo i tekhnogenno kharaktera na potentsialno-opasnykh

obyektakh energetiki [Improving risk assessment methodology of natural and technogenic emergencies at potentially dangerous facilities of energetics]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy*. 2017. № 1. S. 85–97. (rus.)

5. Levin V.I. Logicheskaya teoriya nadezhnosti slozhnykh sistem. M.: Energoatomizdat, 1985. 128 s. (rus.)

6. Gumenyuk V.I., Tumanov A.Yu. Razrabotka matematicheskoy modeli i metodiki otsenki riska ChS na potentsialno opasnom obyekte energetiki s ikh programmnoy realizatsiyey [Development of Mathematical Models and Emergency Risk Assessment Method on Potentially Dangerous Energy Objects with their Program Implementation]. *Tekhnologii grazhdanskoй bezopasnosti*. 2017. Т. 14. № 1 (51). S. 66–74. (rus.)

7. Stekolnikov K.I. Zhivuchest sistem. SPb.: Politekhnik, 2002. 155 s. (rus.)

8. Gumenyuk V.I., Tumanov A.Yu., Tolochko I.A. [i dr.]. Monitoring i prognozirovaniye ChS prirodnogo i

tekhnogennogo kharaktera obyektov ekonomiki. *Nedelya nauki SPBPU: materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. IVTOB*. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2016. S. 11–14. (rus.)

9. **Ang A., Tang W.** Probability concepts in Engineering, Planning and Desing. Vol. 1. Basic Principles. John Wiley&Sons, Inc. US. 1975. 407 p.

10. **Fedosov A.V., Mannanova G.R., Shipilova Yu.A.** Analiz opasnostey, otsenka riska avariya na opasnykh proizvodstvennykh obyektakh i rekomendatsii po vyboru metodov analiza riska [The analysis of dangers, assessment of risk of accidents on hazardous production facility and the recommendation about the choice of methods of the analysis of risk]. *Neftgazovoye delo. Elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2016. № 3. S. 322–336. (rus.)

11. **Makhutov N.A., Reznikov D.O.** Sopostavitelnaya otsenka normativnogo i osnovannogo na upravlenii riskom podkhodov k otsenke zashchishchennosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem. *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin*. 2011 № 6. S. 92–98. (rus.)

12. **Makhutov N.A., Petrov V.P., Reznikov D.O., Kuksova V.I.** Identifikatsiya opredelyayushchikh parametrov ugroz, uyazvimosti i zashchishchennosti kriticheski vazhnykh obyektov po otnosheniyu k prevaliruyushchim ugrozam prirodnogo, tekhnogennogo i terroristicheskogo. *Problemy bezopasnosti i chrezvychnykh situatsiy*. 2008. № 2. S. 70–77. (rus.)

13. **Ching J.** Equivalence between reliability and factor of safety. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 2009. № 2(24). P. 159–171.

14. **Gumenyuk V.I., Karmishin A.M., Kireyev V.A.** O kolichestvennykh pokazatelyakh opasnosti tekhnogennykh avariya [About quantitative indicator of danger man-made accidents]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPb-PU*. 2013. № 2(171). S. 281–288.

15. **Gumenyuk V.I., Karmishin A.M., Kireyev V.A. [i dr.]** Obshchiye integralnyye predstavleniya pokazateley opasnosti tekhnogennykh avariya [General Integrated Representations of Technogenic Accidents Danger Indicators]. *Bezopasnost v tekhnosfere*. 2013. № 6. S. 38–45. (rus.)

#### AUTHORS

**GUMENYUK Vasilii I.** — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university. E-mail: vasilii.gumenyuk@mail.ru

**TOLOCHKO Ivan A.** — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university. E-mail: tolochko-ivan@mail.ru

**TOUMANOV Aleksandr Yu.** — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university. E-mail: Toumanov@mail.ru

**Дата поступления статьи в редакцию: 6 июля 2017 г.**