

УДК 519.25:681.3.06

М.А. Елисеева, В.В. Никишин

**ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ
РИСКОВ АЭС**

Статья посвящена решению актуальных научных задач оценивания и прогнозирования технических рисков опасных производственных объектов. Показана актуальность задач оценивания технических рисков возникающих при эксплуатации таких опасных производственных объектов, как АЭС, которая обусловлена наличием неопределенности при принятии решений по безопасности. Для достижения поставленной цели, и формирования научных задач, в статье рассмотрены математические модели оценивания величины технического риска применяемые на сегодняшний день при эксплуатации опасных производственных объектов. Разработана концептуальная модель процесса исследования технических рисков опасных производственных объектов. С помощью программной среды «LabVIEW», выполнены экспериментальные исследования оценивания величины технического риска. Получены результаты одного из сценариев моделирования технических рисков в виде, зависимости изменения функции плотности распределения риска, от параметров распределения величины технического риска, распределенной по закону Гауса. Показана графическая интерпретация результатов моделирования - динамика изменения функции плотности распределения технического риска. Предложено применение теории гиперслучайных явлений для усовершенствования вероятностных моделей оценивания безопасности АЭС. На основании разработанной динамической модели оценивания технических рисков показаны преимущества оценивания технического риска как гиперслучайной величины. Проведенные в рамках данной статьи исследования позволили представить подходы для повышения качества оценивания технических рисков; сформулировать прикладные задачи моделирования технических рисков АЭС. Для практической реализации сформулированных задач моделирования технических рисков при эксплуатации АЭС показана целесообразность применения современных проблемно-ориентированных суперкомпьютеров.

Технический риск; прикладные задачи; моделирование технического риска для АЭС.

M.A. Eliseeva, V.V. Nikishin

APPLIED TO THE PROBLEM OF MODELING NPP TECHNICAL RISKS

The article is devoted to the solution of urgent scientific problems of estimation and forecasting of the technical risks of hazardous production facilities. The urgency of the problems of estimation of technical risks arising from the operation of such hazardous industrial facilities like nuclear power plants, which is caused by the presence of uncertainty when making decisions on security. To achieve this goal, and the formation of the scientific problems in the article the mathematical model of evaluation of technical risk value used at present in the operation of hazardous production facilities. Developed a conceptual model of the research process, technical risks of hazardous production facilities. With the help of the software "LabVIEW", performed experimental studies of magnitude estimation technical risk. The results of one of the scenarios modelling of technical risks in the form, the variation of the density function of the distribution of risk parameters from the distribution of technical risk, distributed according to the Gauss law. Shows a graphical interpretation of the results of the simulation dynamics of change of the density function of the distribution of technical risk. The proposed application of the theory of Hyper-random phenomena for the improvement of probabilistic models for the estimation of NPP safety. Based on the developed dynamic models of estimating technical risks the advantages of the technical risk assessment as Hyper-random quantities. Conducted in the framework of this article, the study was able to present approaches to improve the quality of technical risk assessment; applied to formulate the problems of modeling technical risks NPP. For the practical implementation of the formulated problems of modeling technical risks during NPP operation the expediency of application of modern problem-oriented supercomputers.

Technical risk; applied tasks; modeling of technical risk for the NPP.

Введение. Актуальность обеспечения безопасности и долгосрочной эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО), требует решения задач моделирования технического риска [1, 9]. Прикладные задачи моделирования технических рисков при эксплуатации ОПО, к которым можно отнести АЭС, связаны с определением значений вероятностей отказов оборудования, которые обусловлены: высокой надежностью оборудования; малым числом критических несоответствий вызванных его предельным состоянием; неоднородностью и усеченностью выборок; разнородностью элементной базы и материалов; различием технологических схем и т.д. [2, 8, 11]. Поэтому высококачественное оценивание и прогнозирования таких вероятностей является актуальной задачей исследования технических рисков при эксплуатации АЭС.

Цель данного исследования сформулировать прикладные задачи моделирования технических рисков такого высоконадежного и важного для обеспечения безопасности оборудования АЭС, как [11]: аппаратура контроля радиационной безопасности, узлы (ротор, статор) турбогенераторов большой мощности, системы управления и защиты, трубопроводы АЭС и др.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- ◆ исследовать подходы к оцениванию и прогнозированию технического риска ОПО;
- ◆ рассмотреть современные модели оценивания величины технического риска;
- ◆ сформулировать совокупность прикладных задач моделирования технического риска для АЭС.

Основной раздел. Для оценивания технических рисков на разных этапах жизненного цикла оборудования ОПО необходимо решение задач численного моделирования там, где требуется значительный объем сложных вычислений и обработка большого количества данных в реальном времени, с помощью, например методов Монте-Карло, теории гиперслучайных величин и др. Следовательно, при моделировании технических рисков и для получения высокоточных и достоверных данных для лица принимающего решение (ЛПР) [13–17], необходимо применение высокоточных суперкомпьютерных технологий [18–20], позволяющих в реальном времени проводить оценивание и прогнозирование величины технического риска оборудования при эксплуатации энергоблоков АЭС.

Технический риск в общем случае определяется как комплексный показатель надежности элементов техносферы, и выражает вероятность аварии или отказа при эксплуатации машин, механизмов, оборудования для реализации технологических процессов [3]. Поэтому определение значения величины технического риска связано с неопределенностью при функционировании технических систем (например, совокупности оборудования энергоблоков АЭС), которая обусловлена, прежде всего, предотказным состоянием, возможностью перехода в предельное состояние, и в результате вероятностью отказов ОПО – P_i [2]. Поэтому для формирования математической модели оценивания технического риска, подразумевающего определение области неопределенности, предлагается использовать развитие диаграммы Фармера [2]. Графически такой подход позволяет представить набор (множество) кривых равного уровня риска (изориска), которые зависят от функциональной структуры и взаимодействий элементов, блоков, устройств ОПО (т.е. характера внутренних связей), влияния факторов внешней среды, видов опасностей и угроз и др. Следует отметить, что при оценивании технического риска необходимо учитывать динамику поведения кривых изориска на различных этапах жизненного цикла ОПО. Зная, что поведение кривых изориска носит вероятностный характер при их исследовании необходимо рассмотреть математи-

ческие модели оценивания технического риска как случайной величины, которые в общем случае представляются в виде функции распределения. Рассмотрим наиболее часто применяемую математическую модель технического риска, для которой вероятность исходных событий p_i и ущерб z_i являются независимыми случайными величинами [1], задаваемыми в общем случае своими законами распределения $f_P(p/z_i)$ и $f_Z(z/p_i)$. Тогда случайная величина технического риска R – это произведение случайных величин вероятности (P) и ущерба (Z), определяться как [5]:

$$R = H\{p, z\}.$$

где H – оператор, реализующий множества возможных вероятностей исходных событий и последствий (ущерба) от их совершению, тогда уравнение кривой изориска: $h = pz$ – гипербола, асимптоты которой совпадают с осями координат. Учитывая подход к применению и развитию диаграммы Фармера для определения области неопределенности и дальнейшего исследования динамики изменения оценок величины технического риска при эксплуатации ОПО, можно построить набор кривых изориска, которые принято задавать функцией распределения случайной величины R в следующем виде [5]

$$F_R(r) = \iint_W f_{PZ}(p, z) dp dz = \iint_W f_P(p) f_Z(z) dp dz, \quad (1)$$

где $F_R(r)$ – функция распределения риска; W – область определения, задаваемая как

$$W : \begin{cases} 0 \leq p \leq 1 \\ 0 \leq z \leq z_{\max} \end{cases},$$

если область интегрирования W подчинена условиям

$$W : \begin{cases} 0 \leq p \leq 1 \\ 0 \leq z \leq r/p \end{cases}.$$

Тогда с учетом ограничения области определения по оси вероятности функция распределения величины R принимает вид

$$F_R(r) = \int_0^{1/r/p} \int_0^{r/p} f_P(p) f_Z(z) dp dz \quad (2)$$

а плотность распределения $f_R(r)$ после дифференцирования выражения (2) по r равна:

$$f_R(r) = \int_0^1 \frac{1}{p} f_P(p) f_Z\left(\frac{r}{p}\right) dp, \quad (3)$$

так как область интегрирования по вероятности имеет естественное ограничение – интервал от 0 до 1. При этом графически, функция плотности распределения технического риска может интерпритировать кривые изориска как это показано на рис. 1, где обозначено m_p и m_z – математические ожидания вероятности и ущерба соответственно.

Таким образом, если априори известен вид законов распределения $f_P(p)$ и $f_Z(z)$, то можно определить вид и значение параметров функции распределения $F_R(r)$ и плотности $f_R(r)$. В качестве законов распределения случайных величин P и Z могут быть выбраны широко известные в теории надежности и безопасности законы [1].

Рассмотрим математическую модель для оценивания технического риска R , если вероятности исходных событий p_i и ущерб z_i – независимые случайные величины распределенные по закону Гауса, тогда функция плотности распределения риска имеет вид [5]:

$$f_R(r) = \frac{1}{2\pi\sigma_p\sigma_z} \int_0^1 \frac{1}{p} \exp\left(-\frac{(p-m_p)^2}{2\sigma_p^2} - \frac{(r/p-m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right) dp, \quad (4)$$

при $m_p \geq 3\sigma_p$ и $m_z \geq 3\sigma_z$.

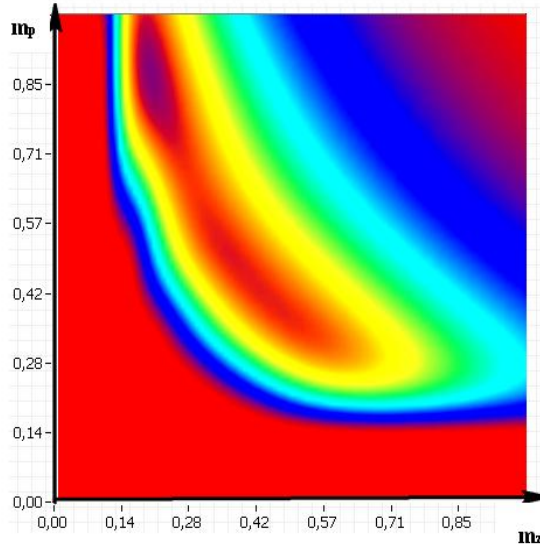
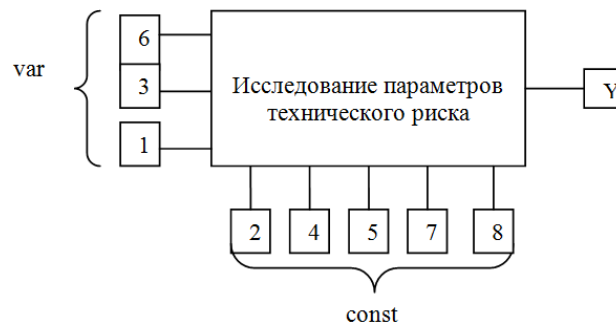


Рис. 1. Пример графической интерпретация функции распределения технического риска

При исследовании модели технического риска рассмотрим зависимость изменения функции плотности распределения риска от параметров распределения величины технического риска, распределенной по закону Гауса, таких как математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, для чего можно использовать инструментальное средство численного моделирования расчетных задач по оцениванию рисков [6].

Реализацию, исследования параметров технического риска, предлагается провести с помощью специализированного инструментального комплекса вероятностного моделирования, концептуальную модель процесса исследования которого можно представить следующим образом [4]:



где:

- 1) закон распределения величины технического риска;
- 2) конкретное заданное значение величины технического риска – r ;

- 3) шаг изменения g ;
- 4) математическое ожидание ущерба – m_z ;
- 5) шаг изменения m_z ;
- 6) математическое ожидание вероятности – m_p ;
- 7) шаг изменения m_p ;
- 8) шаг интегрирования.

Множество входов var описывает переменные входные параметры, влияние которых на значения функции плотности распределения технического риска исследуется в описываемом эксперименте и характеризует параметры: генераторов случайных величин, параметры распределений вероятности и ущерба, методик, определяющих процедуру получения оценок рисков.

Множество $const$ составляют значения величин, постоянных для текущего эксперимента. Сюда входит формулировка влияющего параметра распределения. При этом Y – вектор выходных данных, который содержит количественные значения функции плотности распределения рисков.

Процесс исследования технического риска представляет собой совокупность экспериментов, позволяющих получить значения функции плотности распределения рисков и исследовать динамику ее изменения при различных сочетаниях входных параметров, который реализуется в процессе каждого эксперимента с помощью программной среды «LabVIEW».

Примером процесса такого исследования, является представленный далее пример моделирования функции плотности распределения технического риска и исследование ее изменения от переменных входных параметров, которое представляет собой итеративный перебор двух параметров m_p и m_z , на каждом шаге итерации которого происходит расчет функции (4). Расчет интеграла представляет также собой подитерацию численного интегрирования по dr , а общий вид координатной системы для представления результатов моделирования функции плотности распределения технического риска – $f(r)$ имеет вид, показанный на рис. 2.

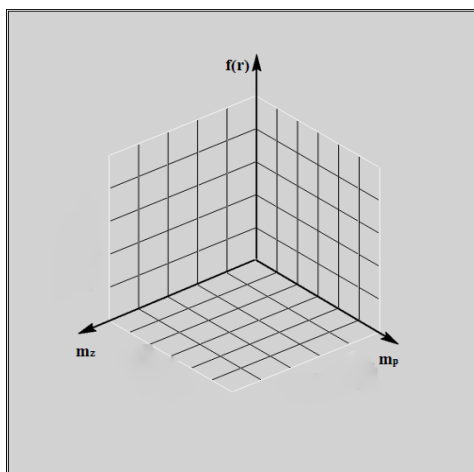


Рис. 2. Общий вид координатной системы представления результатов моделирования функции плотности распределения технического риска – $f(r)$

Результат моделирования технического риска при оговоренных ранее условия, позволяет получить значения функции плотности распределения риска и графически представить динамику поведения функции плотности распределения технического риска при различных сочетаниях входных параметров, как это показано на рис. 3

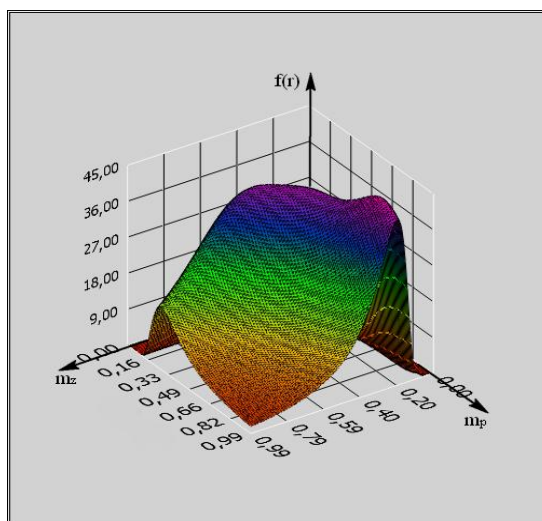


Рис. 3. Моделирование параметра $f(r)$

Таким образом, с помощью программной среды «LabVIEW» показан один из сценариев моделирования технического риска, который графически иллюстрирует зависимость функции плотности распределения риска $f(r)$ от параметров распределений вероятности m_p и ущерба m_z (см. рис. 3). Это позволяет определить, например, влияние изменения математического ожидания вероятности на значения функции плотности распределения риска, при этом для функций распределения Гаусса наблюдается быстрое приближение функции плотности риска к нулю с ростом значения риска и незначительных пределах.

Графически динамика изменения функции плотности распределения от изменения математического ожидания вероятности технического риска может быть представлена двумя способами – в виде пространства (см. рис. 3) и в виде цветовой градации (см. рис. 1), однако реализация данного подхода с помощью программной среды «LabVIEW» при обработке большого объема данных и при условии задания большого интервала изменения параметров, требует больших временных затрат. Поэтому для применения данного моделирования в условиях реальной эксплуатации ОПО, целесообразно использование суперкомпьютерных программно-ориентированных технологий, которые обеспечивают решение требуемых задач по оцениванию технического риска с высокой скоростью обработки большого количества данных и получение результатов с заданной достоверностью [18, 21–25].

Предложенный подход к моделированию технического риска ОПО позволяет эффективно оценивать параметры риска и исследовать динамику изменения чувствительности и неопределенности технического риска.

Так как исследование технического риска связано с неопределенностью, при оценивании его параметров, необходимо применение такого математического аппарата, методы оценивания которого позволили бы повысить качество самой оценки. В современной технической литературе [3] рассмотрены различные подходы и методы оценивания технического риска [4], основанные на применении статистических и вероятностных моделей, которые в основном констатируют уровень безопасности и не позволяют получать достаточно полную и достоверную оценку риска [2]. Поэтому для усовершенствования вероятностных моделей оценивания безопасности ОПО предлагается рассмотреть методы теории гиперслучайных явлений [7, 10].

Применение математического аппарата теории гиперслучайных явлений, которая основана на том, что одним из основных физических свойств реальных событий (испытаний) является их статистическая неполная определенность [7, 10, 12], может позволить более адекватно описать оценку технического риска с помощью гиперслучайных моделей. Это объясняется тем, что гиперслучайные модели, учитывают возможности изменения законов распределения событий, величин, процессов и полей, в условиях реальной ситуации, в отличие от случайных моделей, предполагающих фиксированные значения этих законов.

Случайные явления наиболее полно характеризуются вероятностными распределениями, а гиперслучайные – условными вероятностными распределениями. Так, например, случайная величина риска R , полностью описывается функцией распределения $F_R(r)$, а гиперслучайная величина $R = \{R/g \in G\}$ – множеством функций распределения $F(r/g)$, где G – множество условий g (статистических условий).

При этом, принято считать, что менее полно характеризуют случайную величину ее моменты – математическое ожидание, дисперсия и др. Если известны (заданы) один или несколько моментов случайной величины, то подразумевается, что, кроме этих моментов, существует еще определенный (возможно, неизвестный, но единственный) закон распределения, описывающий рассматриваемую случайную величину [7].

Более полное описание гиперслучайной величины дают верхняя $F_G(r) = \sup_{g \in G} F(r/g)$ и нижняя $F_I(r) = \inf_{g \in G} F(r/g)$ границы функции распределе-

ния, центральные и нецентральные моменты этих границ (математические ожидания границ, дисперсии границ и др.), границы моментов (границы математического ожидания, границы дисперсии и др.) и пр. [7].

При рассмотрении различных характеристик гиперслучайной величины подразумевается, что существует, возможно, неизвестное, но единственное множество условных функций распределений, полностью описывающее эту гиперслучайную величину. Тогда выражения для функции плотности распределения технического риска как гиперслучайной величины при использовании наиболее распространенных законов распределения случайных величин P и Z , позволят получить более точную оценку технического риска.

Для дальнейшего исследования возможностей применения теории гиперслучайных явлений при определении технического состояния оборудования ОПО необходимо рассмотреть динамическую модель оценивания технических рисков и определить механизм ее практического применения для экспериментального подтверждения их количественных оценок [2]. Это может позволить разработать научное обоснование при переназначении сроков эксплуатации, например, оборудования энергоблоков АЭС.

Зная, что обобщенная динамическая модель риска имеет вид [1]: $R = H\{P \times Z \times T\}$, можно используя методы теории гиперслучайных явлений, сформулировать динамическую модель оценивания технических рисков в следующем виде:

$$R = H\{P \times Z \times T \times G\},$$

где H – оператор, реализующий отображение $\{P \times Z \times T \times G\} \rightarrow R$, который задается множеством возможных вероятностей исходных событий предельных состояний ОПО – $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $p_i \in P, i = \overline{1, n}$, множеством последствий (ущерба) от свершения i -х исходных событий $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, $z_i \in Z, i = \overline{1, n}$, $t_i \in T$ – множество моментов времени, $g_i \in G$ – множество всех вариантов условий формирования оцениваемой величины, $r_i \in R$ – множество возможных рисков.

То есть

$$R(p, z, t, g) = H = \{t, t_0, g, g_0, R_0(p_0, z_0, t_0, g_0), R(p, z]_{t_0}^t\}, \quad (5)$$

где t – текущий момент времени, в который определяется риск; t_0 – начальный момент наблюдения за состоянием ОПО, $t \geq t_0$; g_0 – начальные условия наблюдения, g – конкретные условия формирования оцениваемой величины риска в данный момент времени наблюдения, p_0, z_0, R_0 – соответственно вероятность исходных состояний ОПО, ущерб и риск в начальный момент времени наблюдения.

Представленная динамическая модель может быть использована для построения выражений функции плотности распределения риска, как гиперслучайной величины.

Учитывая вышесказанное, можно сформулировать следующие подходы для повышения качества оценивания технических рисков ОПО:

- ◆ формирование технологии оценивания технического риска методом гиперслучайных величин;
- ◆ разработка модели количественного определения вероятностных показателей технического риска ОПО;
- ◆ определение технологии оценивания чувствительности и неопределенности технического риска.

Для реализации сформулированных подходов и экспериментального подтверждения количественных оценок технического риска с целью научного обоснования переназначения сроков эксплуатации оборудования АЭС, необходимо решить следующую совокупность прикладных задач моделирования:

- ◆ разработать концептуальную модель оценивания технического риска;
- ◆ определить математическую модель оценивания технического риска методом гиперслучайных величин;
- ◆ сформулировать методологию моделирования технического риска;
- ◆ определить требования к постановке эксперимента статистического моделирования;
- ◆ определить достоверность оценок технического риска с учетом неопределенности и чувствительности риска.

Таким образом, решение приведенной совокупности прикладных задач моделирования технических рисков может устранить оговоренные недостатки в области оценивания и прогнозирования рисков АЭС. Так как практическая реализация моделирования технических рисков является сложной и малоисследованной задачей требующей большого числа трудоемких вычислений в реальном времени, целесообразно применение современных проблемно-ориентированных суперкомпьютеров, что может способствовать повышению точности и достоверности оценок технических рисков АЭС.

Выводы. В результате выполненных исследований:

- ◆ разработана концептуальная модель процесса исследования технических рисков опасных производственных объектов, и выполнены экспериментальные исследования оценивания величины технического риска;
- ◆ представлены результаты эксперимента математического моделирования оценивания технического риска;
- ◆ показано применение теории гиперслучайных явлений для усовершенствования вероятностных моделей оценивания безопасности АЭС путем разработки динамической модели оценивания технических рисков;
- ◆ сформулирована совокупность прикладных задач для моделирования технических рисков таких опасных производственных объектов, как АЭС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Острейковский В.А.* Математическое моделирование техногенного риска от эксплуатации нефтегазового оборудования // Вестник кибернетики. – 2012. – № 11. – С. 71-75.
2. *Маловик К.Н., Елисеева М.А.* Оценка технического риска при мониторинге и устойчивой эксплуатации сложных объектов // «Устойчивое развитие»: Болгария, Варна: Международная ассоциация «Устойчивое развитие» (МАУР). – 2014. – № 20. – С. 125 – 130.
3. *Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н.* Общая теория рисков: Учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
4. *Маловик К.М.* Розвиток наукових засад підвищення якості оцінювання та прогнозування ресурсних характеристик складних об'єктів: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – Львів, 2013. – 36 с.
5. *Шевченко Е.Н.* Математические модели техногенного риска от объектов обустройства нефтегазовых месторождений // Вестник кибернетики. – 2012. – № 11. – С. 76-80.
6. *Маловик К.Н., Скотков И.А.* Инструментальное средство для оценивания эффективности непараметрических критериев на основе специализированной программной среды // Сборник научных трудов СевНТУ. – 2012. – № 131. – С. 42-48.
7. *Горбань И.И.* Теория гиперслучайных явлений. – К., 2007. – 184 с.
8. *Елисеева М.А., Маловик К.Н.* Безопасность объектов критического применения. Развитие диаграммы Фармера // Стандарты и качество. – 2013. – № 7. – С. 40- 41.
9. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – Утвержд. Госгортехнадзором России Постановлением от 10.07.2001 № 30. – Срок введения в действие 1.10.2001.
10. *Елисеева М.А., Маловик К.Н.* Особенности оценивания ресурсных характеристик методом гиперслучайных величин // Проблемы розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України: Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – С. 31-36.
11. Rasmussen, Norman et al. Reactory Safety Study. WASH-1400. Washington, DC: US NRC.
12. *Елисеева М.А., Маловик К.Н.* Оценивание вероятностных показателей технического риска методом гиперслучайных величин // Сбірник наукових праць ЧНУЯЕтаП. – 2014. – Вип. 1 (49). – С. 129-136.
13. ISO/IEC 31010:2009 Risk management — Risk assessment techniques.
14. ISO 31000-2009 – Risk Management – Principles & Guidelines.
15. ISO Guide 73:2009 "Risk management – Vocabulary - Guidelines for use in standards.
16. ISO 17666:2003 Space systems – Risk management.
17. IEC 60300-1 (2003-06) Dependability management - Part 1: Dependability management systems.
18. *Gottbernar B.* Enhancing risk analysis using software development impact statements // Proceedings of the 26th Annual NASA Goddard Software Engineering Workshop, 2001. – P. 43-51.
19. *Shahzad B., Safvi S.* Effective Risk Mitigation: A User Prospective // International Journal of Mathematics and Computers in Simulation. – 2008. – Vol. 2, No. 1. – P. 70-80.
20. *Linda Westfall* Software Risk Management // PMB 383, 3000 Custer Road, Suite 270 Plano, TX 75075.
21. *Rasmita Dash, Rajashree Dash* Risk assessment techniques for software development // European Journal of Scientific Research. – 2010. – Vol. 42, No. 4. – P. 629-636.
22. *Ronald P. Higuera, Yacov Y.* Haimes Software Risk Management – Technical Report CMU/SEI-96-TR-012 ESCTR-96-012.
23. *Murthi S.* Preventive Risk Management for Software Projects // IT Professional. – 2002. – Vol. 4, No. 5. – P. 9-15.
24. *Zardari.S* Software Risk Management // International Conference on Information Management & Engineering IEEE Computer Society. – 2009. – P. 375-379.
25. *Levine R.* Risk management systems: understanding the need // Information Systems Management, spring. – 2004. – P. 31-37.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Тарарыкин.

Елисеева Мария Александровна – Севастопольский государственный университет; e-mail: marysia_a_a@mail.ru; 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33; тел.: 88692713041; кафедра технической экспертизы и управления качеством; аспирант; преподаватель.

Никишин Владимир Владимирович – e-mail: nikishin_v@mail.ru; кафедра технической экспертизы и управления качеством; к.т.н.; доцент.

Eliseeva Maria Alexandrovna – Sevastopol National University; e-mail: marysia_a_a@mail.ru; 33, Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russia; phone: +78692713041; the department technical expertise and quality management; postgraduate student.

Nikishin Vladimir Vladimirovich – e-mail: nikishin_v@mail.ru; the department technical expertise and quality management; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 681.3.01

С.И. Клевцов, Е.В. Удод

УПРАВЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ В МИКРОПРОЦЕССОРНОМ ДАТЧИКЕ

Повышение точности измерений физической величины за счет схемотехнических или алгоритмических методов практически всегда приводит к увеличению стоимости датчика, часто, весьма значительному. При этом не всегда необходимость достижения высоких показателей точности технически и экономически обоснована. Для управления погрешностью измерений, в том числе достижения низких ее значений, предлагается использовать метод построения пространственной мультисегментной характеристики преобразования на основе линейных и нелинейных пространственных элементов. На основе анализа особенностей метода рассматриваются версии построения характеристики преобразования, определяющие пути оптимизации погрешности измерений. Модель пространственной характеристики преобразования, формируемая на основе ранее упомянутого метода, максимально адаптирована к особенностям конфигурации функции преобразования первичного измерительного преобразователя, фактически повторяя ее пространственную форму с учетом нелинейности, дрейфа нуля, влияния внешних факторов, включая температуру. Это обеспечивает низкую погрешность вычисления физической величины и ее адаптацию для потребностей конкретной задачи измерений. Исследование эффективности метода мультисегментной аппроксимации характеристики преобразования для управления погрешностью и повышения точности измерений физических величин проводилась на основе экспериментальных данных, полученных в процессе градуировки при различных значениях температуры термоанемометрических измерителей скорости потока жидкости. Полученные результаты показывают, что максимальная приведенная погрешность измерения скорости потока жидкости с помощью термоанемометра с использованием мультисегментной пространственной характеристики преобразования не превышает ~ 0,45 % при произвольной температуре, зафиксированной при проведении измерений. Анализ возможных путей оптимизации погрешностей измерения также проводился с использованием данных испытаний тензометрических датчиков давления. При использовании нелинейного пространственного элемента погрешность измерений датчика давления не превысила ~ 0,3 % в заданном диапазоне температур.

Управление погрешностью; термоанемометрический измеритель; датчик давления; пространственная мультисегментная характеристика преобразования.

S.I. Klevtsov, E.V. Udod

IMPROVE ACCURACY MEASUREMENT OF PHYSICAL QUANTITIES USING THE MODEL MULTI-SEGMENT SPATIAL CHARACTERISTICS CONVERSION IN SMART SENSORS

Improving the accuracy of measurements of the physical quantity due to hardware or algorithmic methods almost always leads to an increase in the cost of the sensor, often quite significant. It is not always necessary to achieve high levels of accuracy of technically and economically