

УДК 699.85

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0032

К ЗАДАЧЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 1725-3269

AuthorID: 746605

ВОСКОБОЕВ Виктор Федорович, доктор технических наук, профессор,
старший научный сотрудник научно-исследовательского центра

Академии гражданской защиты МЧС России

(141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А, e-mail: v.voskoboev@amchs.ru)

SPIN: 8654-3788

AuthorID: 709088

ORCID: 0000-0002-4037-1231

ResearcherID: O-9318-2017

ScopusID: 56979008100

РЫБАКОВ Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор,
начальник научно-исследовательского центра

Академии гражданской защиты МЧС России

(141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А, e-mail: a.rybakov@amchs.ru)

SPIN: 5470-1533

AuthorID: 888327

ORCID: 0000-0002-9093-1559

ScopusID: 57209274032

ИВАНОВ Евгений Вячеславович, кандидат технических наук

начальник научно-исследовательского отдела по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций

Академии гражданской защиты МЧС России

(141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А, e-mail: e.ivanov@amchs.ru)

SPIN: 8853-6469

AuthorID: 1033228

ORCID: 0000-0002-9316-6928

ScopusID: 57225988688

СОРОКИН Алексей Юрьевич, кандидат технических наук
преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники

Академии гражданской защиты МЧС России

(141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А, e-mail: a.sorokin@amchs.ru)

Аннотация. В статье предлагается к рассмотрению подход к аналитическому выражению интегрального индекса безопасности функционирования технической системы. В основе индекса лежит подход, предусматривающий комплексную зависимость его значений от некоторого, индивидуального для каждой системы, набора параметров, определяющих выполнение заданных функций системы. Найденная функциональная зависимость позволяет осуществить математическую постановку задачи по приведению значений интегрального индекса безопасности к максимуму, за счет варьирования зависимых параметров системы. Кроме того, за счет оценки влияния каждого параметра, в конечном итоге решается задача управления характеристиками технической системы. Помимо непосредственно решения оптимизационной задачи, по поиску наилучшего решения, обеспечивающего нахождение рациональных значений параметров системы, с применением рассматриваемого индекса может быть получена область допустимых значений комплексного показателя. В свою очередь, найденная область допустимых значений обеспечивает возможность предъявления требований к параметрам технической системы, соответствующий найденной области. Приводится пример оценки интегрального индекса безопасности для конкретной системы управления с заданными свойствами. На основе найденного решения приводится графическое представление области допустимых значений для безопасного функционирования системы.

Ключевые слова: техническая система, интегральный индекс безопасности, оценка безопасности, показатель защищенности, чрезвычайная ситуация, система управления, математическая модель, мониторинг, область допустимых значений, управляемые параметры.

TO THE TASK OF FORMING AN INTEGRAL SAFETY INDEX OF THE FUNCTIONING OF A TECHNICAL SYSTEM

© The Author(s) 2022

VOSKOBUEV Viktor Fedorovich, doctor of technical sciences, professor, senior researcher at the Research Center

RYBAKOV Anatolij Valer'evich, doctor of technical sciences, professor, head of the research center

IVANOV Evgenij Vyacheslavovich, candidate of technical sciences,
head of the Research Department on Civil Defense and Emergency Situations of the Research Center

SOROKIN Aleksey Yur'evich, candidate of technical sciences,
lecturer of the Department Computer Science and Computer Engineering

Civil Defence Academy

(141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, st. Sokolovskaya, building 1A,

e-mail: v.voskoboev@amchs.ru, a.rybakov@amchs.ru, e.ivanov@amchs.ru, a.sorokin@amchs.ru)

Abstract. The article proposes to consider an approach to the analytical expression of the integral safety index of the functioning of a technical system. The index is based on an approach that provides for a complex dependence of its values on some, individual for each system, set of parameters that determine the performance of the specified functions of the system. The found functional dependence makes it possible to carry out a mathematical formulation of the problem of bringing the values of the integral safety index to the maximum by varying the dependent parameters of the system. In addition, by assessing the impact of each parameter, the task of managing the characteristics of the technical system is ultimately solved. In addition to directly solving the optimization problem, in order to find the best solution that ensures finding rational values of the system parameters, using the index in question, the range of acceptable values of the complex indicator can be obtained. In turn, the found range of acceptable values provides the possibility of presenting requirements to the parameters of the technical system corresponding to the found area. An example of the evaluation of the integral safety index for a specific control system with specified properties is given. Based on the solution found, a graphical representation of the range of acceptable values for the safe operation of the system is given.

Keywords: technical system, integral safety index, safety assessment, security indicator, emergency situation, control system, mathematical model, monitoring, range of acceptable values, controlled parameters.

Для цитирования: Воскобоев В.Ф. К задаче формирования интегрального индекса безопасности функционирования технической системы / В.Ф. Воскобоев, А.В. Рыбаков, Е.В. Иванов, А.Ю. Сорокин// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 204-209. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0032.

Введение. В настоящее время большое внимание в исследованиях [1-5] уделяется обоснованию мероприятий по обеспечению защиты населения и в качестве показателя выбирается защищенность, в частности повышение уровня защищенности особо важных и потенциально опасных объектов, обеспечение их устойчивого функционирования в условиях чрезвычайных ситуаций. Эти работы направлены на оценку разных по своей природе поражающих факторов. Причем комплексные показатели защищенности или опасного состояния объектов имеют различные единицы и шкалы измерения. Именно поэтому необходимо говорить об индексе того или иного показателя (безопасности, опасности и т.д.).

Анализ большого класса технических систем (в том числе систем жизнеобеспечения, мониторинга и т.п.) или процессов [6-8] позволяет следующим образом описать ситуацию, связанной с формализацией процесса функционирования объектов.

Выходной эффект Y оценивается некоторой функцией f от комплексного показателя (далее – КП) η , который является комбинацией параметров $\{v_i, g_k, i = \overline{1, I}; k = \overline{1, K}\}$, реализующих заданные функции, т. е.

$$Y = f(\eta(v, g)). \quad (1)$$

Вид зависимости выходного эффекта от комплексного показателя имеет три характерных участка.

На начальном участке изменения КП величина выходного эффекта изменяется с малой скоростью.

На втором участке скорость изменения выходного

эффекта существенно возрастает. На третьем участке снова наблюдается слабая зависимость изменения выходного эффекта от значения КП.

Выходной эффект может иметь различный физический смысл – величина разрушения, уровень усвоения учебного материала, количество публикаций по определённой тематике, степень соответствия требуемому уровню качества и т. п.

Так, при оценке величины разрушения первый этап соответствует ситуации, когда величина внешнего воздействия существенно меньше характеристик прочности материала. По мере уменьшения разницы между этими величинами степень разрушения возрастает (2 этап). На третьем этапе влияние внешних сил проявляется слабо, т.к. материал практически разрушен.

Другим примером является рост информационных потоков (количество публикаций), который определяется уровнем развития науки по данному направлению [9].

При анализе поведения таких процессов часто используется математическая модель вида

$$\frac{dY}{dt} = c \cdot Y(b - Y), c > 0. \quad (2)$$

Решением уравнения (2) является логистическая кривая

$$Y = \frac{b}{1 + a \cdot \exp(-c b t)}, b > 0, \quad (3)$$

где b – максимальное значение Y ;

a, c – некоторые константы.

К похожим результатам в смысле вида зависимости выходного эффекта от КП приводит использование

функции желательности Харрингтона [7]

$$Y = \exp[-\exp(-\eta)], \quad (4)$$

где η – значение комплексного показателя.

Очевидно, что для технических систем и(или) процессов аргумент (параметр η) по физическому смыслу является неотрицательной величиной.

Однако, для логистической кривой аргумент изменяется в интервале $(-\infty, +\infty)$, для функции Харрингтона – в диапазоне $[0, 1]$.

Отсюда следует, что диапазон изменения аргумента как в логистической кривой, так и для функции Харрингтона с точки зрения физического смысла не может быть использован без дополнительных условий и ограничений на выбор используемого участка.

Подобные ограничения либо существенно снижают эффективность использования таких функций, либо могут привести к ошибочным выводам.

Одной из существенных реализаций выходного эффекта при функционировании технической системы является её безопасность. Количественно показатель безопасности может представлять собой абсолютные, относительные характеристики, имеющие смысл вероятности, времени, удельных соотношений и т. п.

В ряде практических случаев целесообразно иметь интегральную оценку уровня безопасности функционирования технической системы – интегральный индекс безопасности.

Подобная оценка необходима, с одной стороны, для оценки уровня безопасности, а с другой – для выделения системы, уровень безопасности которой либо не соответствует требованиям, либо, при сравнении с другими системами, является наименьшим. Задача сравнения и последующего выбора наиболее опасной системы связана с тем, что ограничены возможные средства для обеспечения безопасности.

Целью настоящей статьи является получение аналитического соотношения, связывающего комплексный показатель с оценкой интегрального индекса безопасности функционирования технической системы. При этом должны выполняться следующие условия:

- механизм изменения выходного эффекта от комплексного показателя описывается зависимостью экспоненциального вида;
- интегральный индекс изменяется в диапазоне $[0, 1]$ и зависит от всех частных характеристик, по которым предъявляются требования к технической системе;
- областью определения аргументов ϑ, g в (1) является интервал $[0, 1]$.

Методология. Рассмотрим систему, для которой индекс безопасности функционирования описывается функцией $\Phi_{\Sigma}(S)$, зависящей от множества параметров S .

В общем случае в этом множестве существуют параметры двух типов. Обозначим соответствующие множества F и G , при этом $S = F \cup G; F \cap G = \emptyset$.

Параметры множества $F = \{\vartheta_i, i = \overline{1, I}\}$ характери-

зуются тем, что с ростом любого из них функция $\Phi_{\Sigma}(S)$ возрастает, т.е. для элементов этого множества имеем

$$\frac{\partial \Phi_{\Sigma}(S)}{\partial \vartheta_i} > 0, i = \overline{1, I}. \quad (5)$$

Для другого типа параметров, составляющих множество $G = \{g_k, k = \overline{1, K}\}$, имеет место другая картина – индекс безопасности $\Phi_{\Sigma}(S)$ возрастает при убывании таких параметров, т.е.

$$\frac{\partial \Phi_{\Sigma}(S)}{\partial g_k} < 0, k = \overline{1, K}. \quad (6)$$

Если считать результат воздействия параметров этих двух множеств независимым, а параметры действуют одновременно, то результирующий индекс безопасности

$$\Phi_{\Sigma}(S) = \Phi_{+}(\vartheta_i, i = \overline{1, I}) \cdot \Phi_{-}(g_k, k = \overline{1, K}). \quad (7)$$

где $\Phi_{+}(\vartheta_i, i = \overline{1, I})$, $\Phi_{-}(g_k, k = \overline{1, K})$ – результат влияния на индекс безопасности параметров, удовлетворяющих условиям (5) и (6) соответственно.

Наложим на функцию $\Phi_{\Sigma}(S)$ условие

$$0 \leq \Phi_{\Sigma}(S) \leq 1. \quad (8)$$

Будем также считать, что для элементов ϑ_i, g_k выполняются условия:

$$0 \leq \vartheta_i \leq 1, i = \overline{1, I}; \quad (9)$$

$$0 \leq g_k \leq 1, k = \overline{1, K}. \quad (10)$$

Каждая функция $\Phi_{+}(\cdot)$ и $\Phi_{-}(\cdot)$ описывается выражением вида

$$\Phi(s) = \exp[-\exp(-s)], \quad (11)$$

$$\text{где } s = \vartheta(\vartheta_i, i = \overline{1, I}) \text{ для } \Phi_{+}(\cdot); \quad (12)$$

$$s = g(g_k, k = \overline{1, K}) \text{ для } \Phi_{-}(\cdot). \quad (13)$$

Определим значения комплексных показателей ϑ и g в (12) и (13) следующим образом:

$$\vartheta = \sqrt[I]{\prod_{i=1}^I \vartheta_i}, \quad (14)$$

$$g = \sqrt[K]{\prod_{k=1}^K g_k}. \quad (15)$$

Необходимо определить аналитическое выражение для функции $\Phi_{\Sigma}(S)$ при условиях (8), (9), (10), (14), (15).

Определим последовательно выражения для $\Phi_{+}(\cdot)$ и $\Phi_{-}(\cdot)$.

Очевидно, что условие (8) с учётом (9), (10) влечёт необходимость удовлетворения функциями $\Phi_{+}(\cdot)$ и $\Phi_{-}(\cdot)$ условиям:

$$0 \leq \Phi_{+}(\cdot) \leq 1; \quad (16)$$

$$0 \leq \Phi_{-}(\cdot) \leq 1. \quad (17)$$

Для определения этих функций воспользуемся граничными условиями, вытекающими из (16) и (17).

Для функции $\Phi_{+}(\cdot)$ из (11) имеем при $\vartheta=0$

$$\Phi_{+}(0) = \exp[-\exp(-0)] = \exp(-1). \quad (18)$$

Для удовлетворения условию $\Phi_{\Sigma}(0) = 0$ при $\vartheta=0$ вычтем из (11) полученное значение (18). В этом случае при $\vartheta=0$ для нормированного значения $\hat{\Phi}_{+}(\cdot)$ получаем

$$\hat{\Phi}_{+}(0) = \exp\{-\exp(-0)\} - \exp(-1) = 0. \quad (19)$$

Для удовлетворения условию $\hat{\Phi}_+(1) = 1$ необходимо, чтобы

$$\hat{\Phi}_+(\vartheta) = [\exp\{-\exp(-\vartheta)\}] - \exp(-1) \cdot \Delta = 1, \quad (20)$$

откуда

$$\Delta = \frac{1}{\exp[-\exp(-\vartheta)] - \exp(-1)}. \quad (21)$$

$$\text{При } \vartheta=1 \Delta = \frac{1}{\exp[-\exp(-1)] - \exp(-1)}.$$

Тогда

$$\hat{\Phi}_+(\vartheta) = \frac{\{\exp[-\exp(-\vartheta)]\} - \exp(-1)}{\exp[-\exp(-1)] - \exp(-1)}. \quad (22)$$

Графически выражение (22) представлено кривой (рис. 1).

Для параметров $g_k, k = \overline{1, K}$ $\hat{\Phi}_-(1)$ должно быть равно 0.

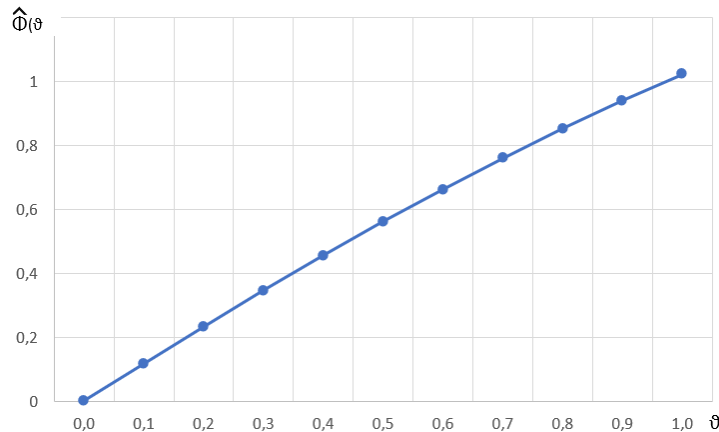


Рисунок 1 – Зависимость индекса безопасности $\hat{\Phi}_+(\vartheta)$ от значения комплексного показателя

Так как при $g=1$

$$\Phi(g) = \exp[-\exp(-1)], \quad (23)$$

то для удовлетворения условию $\hat{\Phi}_-(1) = 0$ необходимо

$$\exp[-\exp(-g)] - \exp[-\exp(-1)] \quad (24)$$

Для удовлетворению условию $\hat{\Phi}_-(0) = 1$ необходимо

$$\hat{\Phi}_-(0) = \{[\exp(-\exp(-g))] - \exp[-\exp(-1)]\} \cdot \Delta_1 = 1 \quad (25)$$

откуда

$$\Delta_1 = \frac{1}{\exp[-\exp(-g)] - \exp[-\exp(-1)]} \quad (26)$$

При $g=0$

$$\Delta_1 = \frac{1}{\exp[-\exp(-1)] - \exp(-1)}. \quad (27)$$

Тогда

$$\hat{\Phi}_-(g) = \frac{\exp[-\exp(-1)] - \exp[-\exp(-g)]}{\exp[-\exp(-1)] - \exp(-1)}. \quad (28)$$

Окончательно с учётом (14), (15) имеем

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}_\Sigma(s) &= \hat{\Phi}_+(\vartheta) \cdot \hat{\Phi}_-(g) = \\ &= \frac{\{\exp[-\exp(-\sqrt[l]{\prod_{i=1}^l \vartheta_i})]\} - \exp(-1)}{\exp[-\exp(-1)] - \exp(-1)} \cdot \\ &\cdot \frac{\exp[-\exp(-1)] - \exp[-\exp(-\sqrt[k]{\prod_{k=1}^K g_k})]}{\exp[-\exp(-1)] - \exp(-1)}. \end{aligned} \quad (29)$$

Выражение (29) обеспечивает получение нормированного значения индекса безопасности при условии нормировки влияющих на него параметров, что удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Помимо получения численного значения индекса безопасности выражение (29) позволяет определять требования к значениям комплексных показателей ϑ и g .

Для этого необходимо решать обратную задачу:

найти такие $\hat{\vartheta}$ и \hat{g} , при которых

$$\hat{\Phi}_\Sigma(s) = \hat{\Phi}_\Sigma(\hat{\vartheta}, \hat{g}) \geq \hat{\Phi}_{\Sigma \text{ треб}} \quad (30)$$

Решение этой задачи не является единственным, а представляет область допустимых значений $\hat{\vartheta}$ и \hat{g} на плоскости $\{\vartheta, g\}$. Нижнее значение границы области соответствует условию $\hat{\Phi}_\Sigma(s) = \hat{\Phi}_{\Sigma \text{ треб}}$.

Относительно размеров этой области необходимо отметить, что с увеличением значения $\hat{\Phi}_{\Sigma \text{ треб}}$ площадь области будет сокращаться. Для определения конкретных значений пары (ϑ, g) необходимо введение дополнительных условий, например, ограничений на затраты по обеспечению значений $\hat{\vartheta}$ и \hat{g} .

Результаты. Рассмотрим произвольную систему мониторинга.

Заключение системы мониторинга должно удовлетворять двум основным требованиям – своевременности и достоверности.

Первое требование обусловлено тем, что только при своевременном получении заключения системы мониторинга возможно предпринимать меры по уменьшению или предотвращению негативных последствий рассматриваемой ситуации. Особенно важным это требование представляется при предотвращении и (или) ликвидации ЧС.

Достоверность заключения связана с сокращением потерь при проведении мероприятий по предотвращению (ликвидации) ЧС. При значительной ошибке первого рода выполняются излишние работы, при ошибках второго рода дополнительные затраты связаны с ликвидацией тех последствий, которые можно было бы не допустить в случае корректного

заклЮчения системы мониторинга.

Будем характеризовать своевременность получения заклЮчения ϑ_1 вероятностью того, что время получения заклЮчения не превзойдет некоторого значения t_0 , при котором возможно предупреждение последствий.

Достоверность заклЮчения ϑ_2 будем оценивать как вероятность того, что текущее значение заклЮчения соответствует истинной ситуации.

При введенных обозначениях

$$\vartheta_1 = P\{\tau \leq t_0\}, 0 \leq \vartheta_1 \leq 1, \quad (31)$$

$$\vartheta_2 = P\{s = s_0 | s_0\}, 0 \leq \vartheta_2 \leq 1, \quad (32)$$

где τ – текущее время получения заклЮчения;

s_0 – истинное значение заклЮчения;

s_0 – текущее значение заклЮчения.

Очевидно, что для параметров ϑ_1 и ϑ_2 имеем

$$\frac{\partial \Phi_{\Sigma}}{\partial \vartheta_i} > 0, i = 1, 2. \quad (33)$$

Следуя (14), введём совместную оценку указанных требований для комплексного показателя в виде

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_1 \cdot \vartheta_2} \quad (34)$$

Тогда с учётом (22) имеем:

$$\hat{\Phi}_{\Sigma}(\vartheta_1, \vartheta_2) \approx \frac{\{ \exp[-\exp(-\sqrt{\vartheta_1 \cdot \vartheta_2})] \} - 0,372}{0,318}. \quad (35)$$

Выражение (35) позволяет получить значение функции $\hat{\Phi}_{\Sigma}(\vartheta_1, \vartheta_2)$.

Пусть $\vartheta_1 = 0,8$; $\vartheta_2 = 0,9$.

В этом случае

$$\hat{\Phi}_{\Sigma}(\vartheta_1, \vartheta_2) \approx \frac{\{ \exp[-\exp(-\sqrt{0,72})] \} - 0,372}{0,318} = 0,88, \quad (36)$$

что и является оценкой интегрального индекса безопасности функционирования системы мониторинга при известных значениях ϑ_1 и ϑ_2 .

Покажем вид области допустимых решений для рассматриваемого примера.

Пусть $\Phi_{\Sigma \text{ треб}} = 0,9$. В этом случае имеем

$$\frac{\{ \exp[-\exp(-\sqrt{\vartheta_1 \cdot \vartheta_2})] \} - 0,372}{0,318} \geq 0,9, \quad (37)$$

откуда после преобразований получим

$$\exp[-\exp(-\sqrt{\vartheta_1 \cdot \vartheta_2})] \geq 0,604.$$

Решение этого неравенства представлено на рисунке 2.

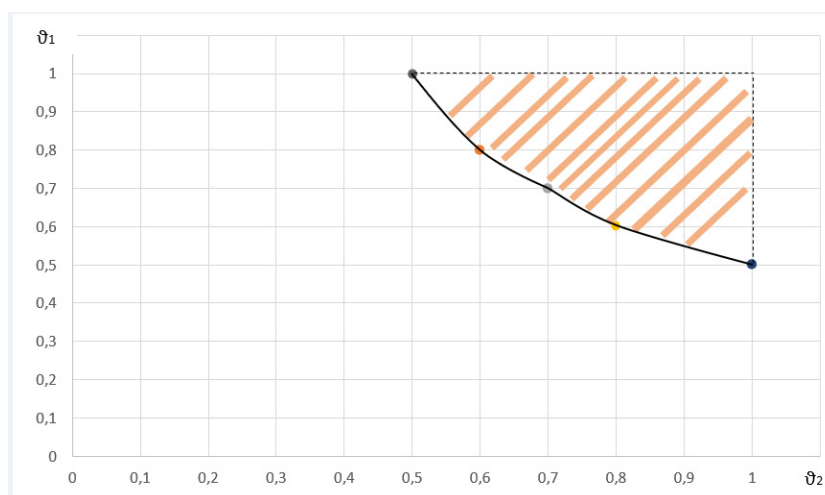


Рисунок 2 – Область допустимых значений комплексных показателей

Заштрихованная область представляет собой область допустимых значений ϑ_1 и ϑ_2 из условия (37). Найденная область допустимых значений обеспечивает возможность предъявления требований к параметрам технической системы и может быть использована для нахождения допустимых интервалов значений технических параметров системы.

Обсуждение. Ранее в работах [11, 12] авторами уже рассматривалась задача повышения устойчивости функционирования сложных технических систем в условиях ограничений. Применяемый в рассматриваемых работах подход не в полной мере учитывал такую составляющую комплексного показателя, как $\Phi_{\Sigma}(g_k, k = \overline{1, K})$. То есть по факту предлагал решение только того класса задач, где изменяемые параметры и отклик системы имели положительную обратную связь.

В работах [13-15] предлагается переход к стохастической оценке состояния безопасности слож-

ных систем, что не всегда применимо на практике, прежде всего за счет неопределенности законов распределения случайных величин, применительно к рассматриваемым системам.

Некоторый интерес представляют работы [16-21], рассматривающие помимо собственных параметров систем еще и параметры воздействующих факторов. Рассматриваемый в статье подход в прямой постановке этого не учитывает и закладывает такую оценку в собственные параметры системы.

Следует понимать, что изменение значений безопасности функционирования технических систем осуществляется за счёт проведения работ по их модернизации при различных ограничениях. Предлагаемый авторами подход позволяет сформулировать требования к параметрам системы в виде некоего интервала допустимых значений, в области которых находятся допустимые решения для обеспечения безопасного функционирования.

Выводы. Полученное выражение для интегрального индекса безопасности функционирования технической системы позволяет вычислить его нормализованное числовое значение.

Способ формирования интегрального индекса безопасности даёт возможность учитывать влияние разнородных параметров, определяющих реализацию заданных функций, а также обеспечивает удовлетворение физическому смыслу таких параметров.

Решение обратной задачи позволяет получить область допустимых значений комплексных показателей, что обеспечивает возможность предъявления требований к параметрам технической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Rybakov A.V., Lebedeva M.V., Shmyrev V.I., Ivanov E.V. On the integrated assessment of the technogenic risk of accidents on the territory of a city // Journal of Emergency Management. – 2020. – Vol. 18. – № 2. – P. 105-111.
2. Slavova V.B., Dimitrova D.A., Ivanov V.A. [et al.] State policy for training the population for protective actions during disastrous situations // International Research Journal. – 2016. – No 4-5(46). – P. 122-124.
3. Овсяник А.И., Седнев В.А. Методология обоснования инженерно-технических мероприятий предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и оценки их эффективности // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – Т. 16. – № 4. – С. 53-58.
4. Строкин В.В. Планирование по защите потенциально опасных и критически важных объектов // Пробелы в российском законодательстве. – 2015. – № 5. – С. 179-181.
5. Баныщикова З.Е., Назаренко Е.К. Реализация государственной политики в области повышения защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз различного характера // Технологии гражданской безопасности. – 2019. – Т. 16. – № 1(59). – С. 54-58.
6. Гайфулин, Т.А., Костомаров Д.С. Анализ современных систем мониторинга // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 9-2. – С. 51-55.
7. Современные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / В. Р. Болов, Э. Я. Богатырев, А. А. Быков [и др.]. МЧС России. – Москва: Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России, 2013. – 351 с.
8. Глущенко В.В. Проектная модель функционирования организаций // The Scientific Heritage. – 2020. – № 53-3 (53). – С. 15-22.
9. Билятинов К.З., Меняйло В.В. Методология оценки качества систем в сфере устойчивости больших технических объектов // Век качества. – 2020. – № 2. – С. 198-214.
10. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. – 2012. – № 1(1). – С. 25-28.
11. Воскобоев В.Ф., Рыбаков А.В., Иванов Е.В. О повышении устойчивости и безопасности опасного производственного объекта при ограниченных ресурсах // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 5. – С. 47-51.
12. Воскобоев В.Ф. О выборе мероприятий по повышению устойчивости функционирования технической системы при ограниченных ресурсах // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1(40). – С. 13-18.
13. Юрков Н.К. Безопасность сложных технических систем // Вестник Пензенского государственного университета. – 2013. – № 1. – С. 129-135.
14. Михайлов В.С., Юрков Н.К. Интегральные оценки в теории надежности. Введение и основные результаты. Москва: Рекламно-издательский центр "Техносфера", 2020. – 152 с.
15. Klyachkin, V. & Karpunina, I.. (2018). Statistical methods for assessing the stability of functioning of technical systems. Reliability & Quality of Complex Systems. 10.21685/2307-4205-2018-2-5.
16. Вечеркин В.Б., Галанкин А.В., Прохоров М.А. Методика оценивания устойчивости функционирования автоматизированной системы управления критической информационной инфраструктурой в условиях информационного воздействия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 6. – С. 160-170.
17. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности систем. – М.: Сов. радио, 1971. – 224 с.
18. Ernest J. Henley, H. Kumamoto Reliability engineering and risk assessment. – Prentice-Hall, Inc, 1984. – 528 с.
19. Захарченко Р.И., Королев И.Д., Саенко И.Б. Синергетический подход к обеспечению устойчивости функционирования автоматизированных систем специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 4. – С. 207-225.
20. Van der vleuten, Erik. (2009). Large Technical Systems. 10.1002/9781444310795.ch39.
21. Summerton, J. (ed.) (1994). Changing Large Technical Systems (Boulder, Colo.: Westview Press).

Статья поступила в редакцию 06.08.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022