

УДК 621.8

DOI 10.23947/2541-9129-2018-1-2-57-68

**ФАКТОРНАЯ ИНТЕРВАЛЬНАЯ
КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ
БЕЗОПАСНОСТИ И ЗДОРОВЬЯ****Ю. В. Есипов, Джаюси Мохаммад,
Е. Э. Цыба**Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерацияyu-yesipov5@yandex.ruEvgeni_cyba@mail.ru

В настоящей работе развиваются логико-вероятностный и логико-возможностный способы оценивания безопасности и обоснования здоровья в системе вида «среда — объект — защита — субъект». В предположении о монотонности изменения эффектов действия различных вредных факторов разработана новая факторная интервальная концепция, позволяющая унифицировано описывать параметрические предпосылки происшествий с помощью интервалов восприимчивости на основе применения единой модели «воздействие — ослабление — восприимчивость». Полученные авторами зависимости для вероятностной и возможностной мер вершинных исходов позволяют рассчитывать показатели безопасности и обосновывать способы и средства защиты.

Ключевые слова. Безопасность системы, происшествие, вероятность, возможностная мера, охрана здоровья, «воздействие — восприимчивость»

Введение. Известно, что к первостепенным задачам в области техносферной и экологической безопасности и риска относятся такие задачи как: 1) стандартизация и (или) унификация показателей безопасности (риска) и методов их расчета, как для типовых (статистически описанных) [1, 2], так и для нетиповых («уникальных» или статистически плохо обусловленных) технических и (или) экологических систем [3–5]; 2) построение и накопление типовых логических и параметрических моде-

UDC 621.8

DOI 10.23947/2541-9129-2018-1-2-57-68

**FACTORIAL INTERVAL CONCEPT OF
SAFETY AND HEALTH EVALUATION****Y. V. Esipov, J. Mohammad,
E. E. Tsyba**Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federationyu-yesipov5@yandex.ruEvgeni_cyba@mail.ru

The paper develops logical-and-probabilistic and logical-and-possibility methods of safety evaluation and health substantiation in the system of "environment – object – protection – subject". A new factorial interval concept allowing us to describe parametric prerequisites of incidents with the help of susceptibility intervals on the basis of application of the unified model "influence – weakening – receptivity" is developed assuming monotonicity of parameters change of various factors. The obtained dependences for probabilistic and possible measures of vertex outcomes allow us to evaluate safety indicators and justify the methods and means of protection.

Keyword. System safety, probability, accident, health, «influence-susceptibility».

Introduction. It is known that the primary tasks in the field of technosphere and environmental safety and risk include such tasks as: 1) standardization and (or) unification of safety (risk) indicators and methods of their calculation, both for typical (statistically described) [1, 2] and for non-typical ("unique" or statistically poorly conditioned) technical and (or) environmental systems [3–5]; 2) construction and accumulation of typical logical and parametric models of vertex

лей вершинных исходов (происшествий или аварий) [6, 7]; 3) разработка и апробация правил верификации [8–10] на основе сравнительного анализа результатов расчета вероятностных и возможностных показателей безопасности и риска.

Данная работа посвящена изложению с инженерных позиций и построению на примере параметрических условий возникновения происшествий и их предпосылок. При этом целью работы является расширение области применения и использование очевидных преимуществ параметрической модели «воздействие — ослабление — восприимчивость», что позволило разработать интервальную концепцию оценки безопасности и здоровья.

Постановка задачи. В рамках системы «субъект — объект — защита — среда» [5, 10] представим обобщенную аналитическую модель процесса вида «воздействие — распространение — прохождение — ослабление — защита» следующим образом:

$$I(\rho, t) = I_0 \cdot \exp(-\rho/\rho_0) \cdot \exp(-x/l_0) \cdot \exp(-t/\tau_0), \quad (1)$$

где I_0 — амплитуда процесса; $\varphi_\rho(\rho/\rho_0)$ — геометрический фактор, который с учетом обозначения $\rho_n = \rho/\rho_0$ чаще всего представляют одним из выражений: $\varphi_\rho(\rho/\rho_0) = 1/\rho_n^2$, $1/\rho_n$ или $\exp(-\rho_n)$; $\varphi_l(x/l_0)$ — функция ослабления процесса в защите (преграде) толщиной l_0 ; $\varphi_t(t)$ — временная форма процесса как реакция на воздействие в виде ступеньки или в виде дельта-импульса.

В простейшем изложении с учетом ослабления параметр воздействия находят по зависимости

$$s = f \cdot v, \quad (2)$$

где v — параметр воздействия извне; f — функция ослабления, заданная на интервале $[0, 1]$.

При этом однопараметрическую модель «воздействие — восприимчивость» представляют в виде « s — r ».

Заметим, что зависимости (1) и (2) применяются для описания параметров воздействия, ослабления и восприимчивости большинства видов факторов, например, таких как механи-

outcomes (incidents or accidents) [6, 7]; 3) development and testing of verification rules [8–10] on the basis of comparative analysis of results of calculation of probabilistic and possibility safety and risk indicators.

This work is devoted to the statement from engineering positions and construction on the example of parametric occurrence conditions of incidents and their prerequisites. At the same time, the aim of the work is to expand the scope of application and use of obvious advantages of the parametric model "influence — weakening — susceptibility", which made it possible to develop the interval concept of safety and health evaluation.

Problem statement. Within the system "subject — object — protection — environment" [5, 10] we present a generalized analytical model of the process of the type "influence - distribution - passage — weakening - protection" as follows:

$$I(\rho, t) = I_0 \cdot \exp(-\rho/\rho_0) \cdot \exp(-x/l_0) \cdot \exp(-t/\tau_0), \quad (1)$$

where I_0 is the amplitude of the process; $\varphi_\rho(\rho/\rho_0)$ is a geometric factor which, taking into account the notation $\rho_n = \rho/\rho_0$ is often represented as one of the expressions: $\varphi_\rho(\rho/\rho_0) = 1/\rho_n^2$, $1/\rho_n$ or $\exp(-\rho_n)$; $\varphi_l(x/l_0)$ is a function of the weakening of the process of protection (barrier) with a thickness of l_0 ; $\varphi_t(t)$ is the temporal form of the process as a reaction to the influence in the form of a step or in the form of delta pulse.

In the simplest manner taking into account the weakening, the influence parameter is found according to the dependency

$$s = f \cdot v, \quad (2)$$

where v is the external influence parameter; f is the weakening function defined on the interval $[0, 1]$.

Here one-parameter model "influence — susceptibility" is in the form of " s — r ".

We should note that dependencies (1) and (2) are used to describe the parameters of influence, weakening, and susceptibility of most kinds of factors, such as mechanical, thermal, chemical,

ческий, тепловой, химический и физический.

Решение задачи: случайные параметры. Для описания основных вершинных исходов (состояние здоровья, состояние болезни, летальный исход) разработана линейка параметрических моделей, построенных на основе параметров воздействия, ослабления и восприимчивости (рис. 1). Из рисунка видно, что с учетом функции ослабления параметры воздействия могут достигать и превышать параметры восприимчивости и, следовательно, описывать границы и вариации основных вершинных исходов (происшествий) в системе.

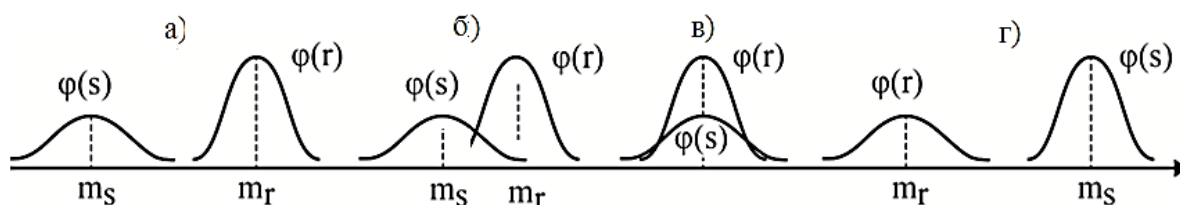


Рис. 1. Демонстрация применения вероятностной параметрической модели «воздействие — восприимчивость» в диапазоне возникновения вершинных исходов от травмы (заболевания) до критического или летального исхода, описываемые слева направо вариантами: а), б), в), г)

Fig. 1. Demonstration of usefulness of the probabilistic parametric model "influence-susceptibility" in the range of vertex outcomes from trauma (disease) to critical or fatal outcome, described from left to right by options: a), б), в), г)

Сначала предположим, что параметры воздействия, ослабления и восприимчивости представляют собой случайные величины (с. в.) с нормальным законом распределения (н. з. р.). На основе параметрической модели и условия превышения воздействия s над восприимчивостью r определим вероятность реализации вершинного исхода $x=1$ в происшествии $Pro(x=1)=Pro(s>r)$ так, как описано в [5, 9].

Введём новую переменную $z=s-r$, которая также распределена по нормальному закону с математическим ожиданием $m_z=m_s-m_r$ и преобразуем задачу к виду:

$$Pro(s-r>0)=\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(r) \left[\int_{-\infty}^s \varphi(s) ds \right] dr. \quad (3)$$

Рассмотрим более подробно случаи, проиллюстрированные на рис. 1, а и рис. 1, б, учитывая условия:

$$m_s < m_r \rightarrow m_z = m_s - m_r < 0. \quad (4)$$

and physical.

Solution to the problem: random parameters. To describe the main vertex outcomes (state of health, state of disease, death) we have developed a range of parametric models that are based on the parameters of influence, weakening and susceptibility (Fig. 1). It can be seen from the figure that, taking into account the weakening function, the influence parameters can reach and exceed the susceptibility parameters and, therefore, describe the boundaries and variations of the main vertex outcomes (incidents) in the system.

First, let us suppose that the parameters of influence, weakening and susceptibility are random variables (RV) with the normal law of distribution (NL. D.). On the basis of the parametric model and the condition of exceeding influence s over the susceptibility r , we determine the probability of the vertex outcome $x=1$ in incident $Pro(x=1)=Pro(s>r)$ as described in [5, 9].

We introduce a new variable $z=s-r$, which is also distributed by the normal law with mathematical expectation $m_z=m_s-m_r$ and convert the problem to the form:

$$Pro(s-r>0)=\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(r) \left[\int_{-\infty}^s \varphi(s) ds \right] dr. \quad (3)$$

Let us consider in more detail the cases illustrated in Fig. 1, а and Fig. 1, б, considering the conditions:

$$m_s < m_r \rightarrow m_z = m_s - m_r < 0. \quad (4)$$

Введем функцию распределения вероятности $\varphi_z(z)$ и на основании табулированного интеграла вероятностей $\Phi(x)$ [11] выражение (3) представим в виде:

$$p_1(u) = \text{Pro}(z > 0) = 0.5 - \Phi((m_r - m_s) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0.5}) = 0.5 - \Phi(u), \quad (5)$$

где параметр

$$u = (m_r - m_s) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0.5} \quad (6)$$

представляет собой вероятностный «приведенный параметрический запас безопасности» (ППЗБ) [9, 10], вычисляемый как отношение разности математических ожиданий воздействия и восприимчивости к их суммарному среднеквадратическому отклонению (с. к. о.).

Нечеткое представление параметров. В линейной аппроксимации параметров воздействия s и восприимчивости r как нечетких величин (в наименее информативном варианте их получения) возможностная мера превышения $\text{Pos}(x=1) = \text{Pos}(s > r)$ определяется из зависимости [5]:

$$\pi L_i = \text{Pos}(s > r) = 1 - zb, \quad (7)$$

где zb — «приведенный запас» безопасности:

$$zb = (\bar{r} - \bar{s}) / (\Delta r + \Delta s), \quad (8)$$

в котором $\bar{r}$ и $\bar{s}$ — «ядра» нечетких параметров восприимчивости r и воздействия s соответственно; Δr и Δs — «интервалы размытости» или абсолютные погрешности представления, которые при гипотезе о н. з. р. с. в. равны 3 сигма (с. к. о.) с уровнем доверия 0.997 [5, 8].

We introduce the probability distribution function $\varphi_z(z)$ and, based on the tabulated probability integral $\Phi(x)$ [11], we present the expression (3) as:

$$p_1(u) = \text{Pro}(z > 0) = 0.5 - \Phi((m_r - m_s) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0.5}) = 0.5 - \Phi(u), \quad (5)$$

where the parameter

$$u = (m_r - m_s) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0.5} \quad (6)$$

is a probabilistic "reduced parametric safety margin" [9, 10] calculated as the ratio of the difference of mathematical expectations of influence and susceptibility to their total root mean square deviation (RMSD).

Fuzzy representation of parameters. In linear approximation of the parameters of influence s and susceptibility r as fuzzy values (in the least informative way of their determination), the possible measure of excess $\text{Pos}(x=1) = \text{Pos}(s > r)$ is determined from the dependence [5]:

$$\pi L_i = \text{Pos}(s > r) = 1 - zb, \quad (7)$$

where zb is the "reduced margin":

$$zb = (\bar{r} - \bar{s}) / (\Delta r + \Delta s), \quad (8)$$

in which $\bar{r}$ and $\bar{s}$ — "nucleus" of fuzzy parameters of the susceptibility of r and the influence s , respectively; Δr and Δs — "fuzzy intervals" or absolute errors of representation, which, for the hypothesis of NL.D.R.V. are equal to 3 sigma (RMSD) with the degree of belief 0.997 [5, 8].

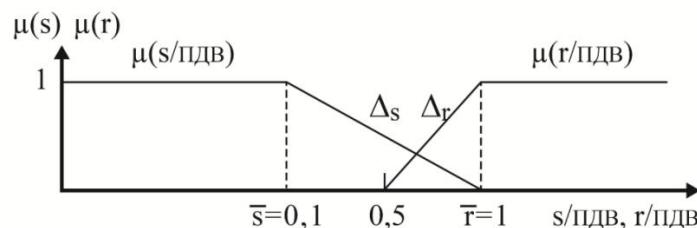


Рис. 2. Нечеткая параметрическая модель вершинных исходов на основе линейной аппроксимации функций принадлежности воздействия $\mu(s)$ и восприимчивости $\mu(r)$

Fig. 2. Fuzzy parametric model of vertex outcomes on the basis of linear approximation of membership functions of influence $\mu(s)$ and susceptibility $\mu(r)$

На основании линейки параметрических моделей (рис. 1), описания параметров как нечетких величин, зависимостей (7), (8), а также рис. 2 для разработки интервальной концеп-

Based on the parametric models range (Fig. 1), descriptions of parameters as fuzzy variables, dependencies (7), (8), and Fig. 2 for the develop-

ции оценивания было использовано «трёх-уровневое» представление параметрической вариации здоровья, болезни и летального исхода (рис. 3). Отметим, что это «трёхуровневое» представление — модель или «сборка» параметров восприимчивости, описывающая с учетом монотонности эффект нарастания опасности при увеличении воздействия (нагрузки).

К примерам таких «сборок» параметров восприимчивости относятся:

- 1) «характерные» значения электрического тока, по которым определяют исход поражения человека;
- 2) линейка показателей поражения работника от действия химических факторов такого вида как «ПДК — ОБУВ — критический порог воздействия»;
- 3) линейка показателей поражения работника от действия электромагнитных или ионизирующих излучений;
- 4) порог слышимости, болевой и критический пороги акустических и вибрационных воздействий.

ment of interval concept of estimation the "three-level" representation of parametrical variation of health, illness and fatal outcome was used (Fig. 3). Let us note that this "three — level" representation is a model or "collection" of the susceptibility parameters, describing, taking into account the monotonicity, the danger increase effect with increasing influence (load).

The examples of such "collections" of susceptibility parameters include:

- 1) "typical" values of the electric current, which determine the outcome of human injury;
- 2) the range of indicators of an employee's injury from the action of chemical factors of such type as "MPC- safe reference levels of impact -a critical threshold of impact";
- 3) the range of indicators of an employee's injury from action of electromagnetic or ionizing radiation;
- 4) threshold of audibility, pain and critical thresholds of acoustic and vibration effects.

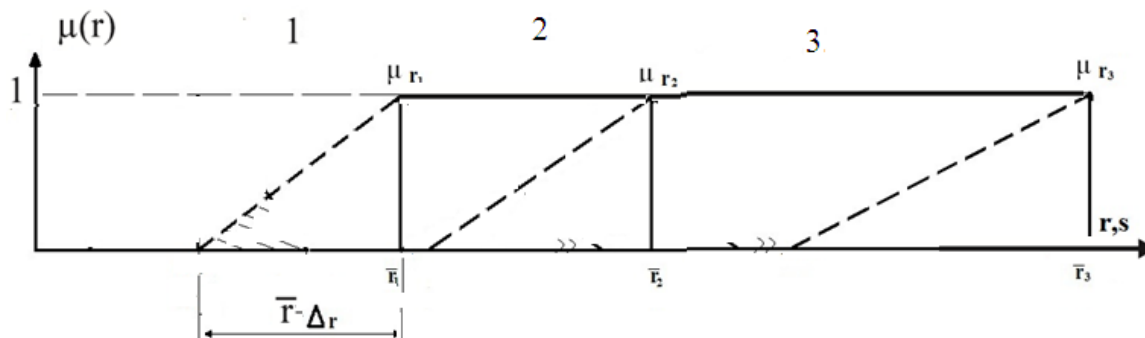


Рис.3. Трёхуровневое представление восприимчивости объекта и (или) субъекта к воздействию опасных или вредных факторов и соответствующие этим уровням степени тяжести вершинных исходов (опасностей)

Fig.3. Three-level representation of the susceptibility of an object and (or) a subject to the effects of dangerous or harmful factors and corresponding to these levels of severity of vertex outcomes (hazards)

Отметим также, что варианты возможного нарастания и уменьшения параметров воздействий при наличии защиты по отношению к линейке параметров восприимчивости (рис. 1),

Let us also note that the options for the possible increase and decrease in the parameters of influence with protection in relation to the range of susceptibility parameters (Fig. 1) can be easily

можно легко учесть на основании зависимостей (7), (8) и описать с помощью рис. 2 и рис. 3.

Установление граничных условий задачи. Применение зависимостей (7), (8) потребовало установления и уточнения граничных условий задачи. Результаты анализа и демонстрация граничных условий для нечеткой параметрической модели с воздействием s и восприимчивостью r представлены на рис. 4, 5.

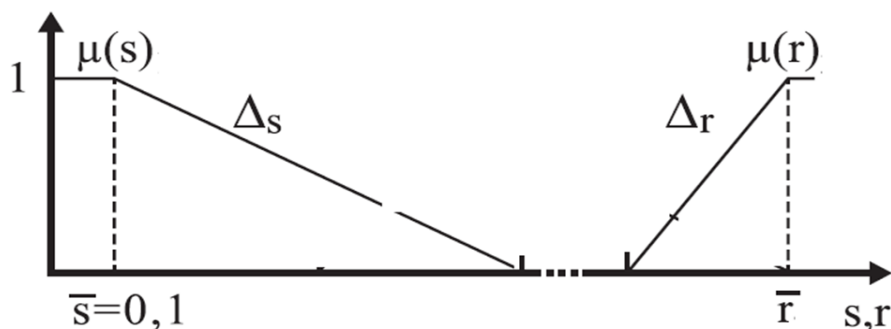


Рис. 4. Демонстрация граничного условия: если $zb=1$, то $\pi_{Li}=0$

Fig. 4. Demonstration of the boundary condition: if $zb=1$, then $\pi_{Li}=0$

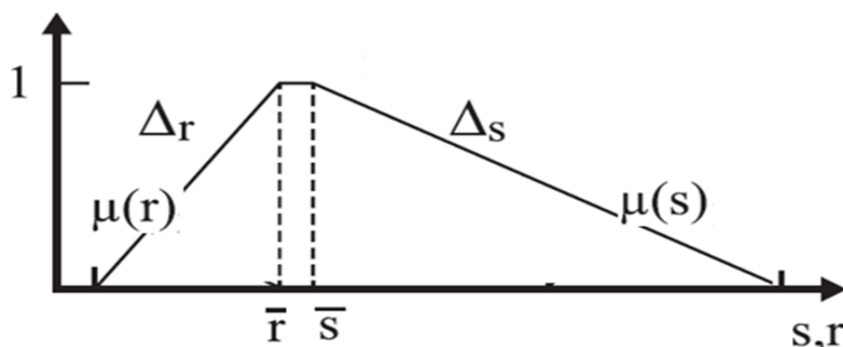


Рис. 5. Демонстрация граничного условия: если $zb=0$, то $\pi_{Li}=1$

Fig. 5. Demonstration of the boundary condition: if $zb=0$, then $\pi_{Li}=1$

Пример решения задачи. На предприятии по производству пластмассовых изделий на работника действуют химические факторы: оксид углерода (CO), формальдегид (CH_2O) и ацетальдегид (C_2H_4O). Для обоснования степени безопасности работ, а также для разработки и обоснования применяемой защиты была поставлена задача расчёта возможной меры реализации следующих вершинных исходов: ВИ1 — отравление; ВИ2 — удушье; ВИ3 — летальный исход (ЛИ).

В ходе анализа и подготовки исходных данных предполагалось, что зависимость,

considered on the basis of dependencies (7), (8) and described using Fig. 2 and Fig. 3.

Establishing problem boundary conditions. The use of the dependencies (7), (8) required establishing and clarifying the boundary conditions of the problem. The results of the analysis and demonstration of the boundary conditions for the fuzzy parametric model with the influence of s and susceptibility r are presented in Fig. 4, 5.

Example of problem solving. The following chemical factors influence an employee at the enterprise for the production of plastic products: carbon monoxide (CO), formaldehyde (CH_2O) and acetaldehyde (C_2H_4O). To justify the level of work safety, and to develop and justify protection the problem was set to calculate the possibilities of the following vertex outcomes: VO1 — poisoning; VO2 — asphyxiation; VO3 — lethal outcome (LO).

During the analysis and preparation of the initial data, it was assumed that the dependence describing the change or weakening of the param-

описывающая изменение или ослабление параметров применительно к выбранным вершинным исходам (2), является линейной, а параметрические модели вершинных исходов для выбранных негативных факторов на примере действия оксида углерода представлены на рис. 6.

Как следует из левой части рис. 6 (вершинный исход 1), воздействие до (и на уровне) значения ядра, равного 10.5 мг/м^3 достоверно, при этом вероятность проявления этой величины равна единице. На уровне верхнего значения (на уровне α среза или с учетом выполнения правила «трёх сигм») вероятность проявления воздействия меньше или равна 0.003 [3, 5]. При этом относительная погрешность представления параметров и восприимчивости и воздействия равна $\delta=50\%$.

Алгоритм подготовки и получения исходных данных для расчета возможных мер возникновения трех вершинных исходов на примере действия оксида углерода на работника содержал нижеперечисленные этапы.

1) Выбор значений параметра восприимчивости, а также погрешностей его представления для следующих вершинных исходов.

Вершинный исход (ВИ1) — отравление. Восприимчивость к отравлению выражается через значение ПДК: $n_i=20 \text{ мг/м}^3$; абсолютная погрешность представления параметра восприимчивости: $\Delta_i=\delta \cdot n_i=0.5 \cdot 20=10 \text{ мг/м}^3$.

Нижняя граница восприимчивости определялась из зависимости $r_i-\Delta_{iR}$, мг/м^3 , верхняя граница — из зависимости $s_1+\Delta_{is}$, мг/м^3 .

Вершинный исход (ВИ2) — удушье. Восприимчивость к удушью выражается через десятикратное значение ПДК: $n_i=200 \text{ мг/м}^3$; абсолютная погрешность представления параметра восприимчивости к удушью: $\Delta_i=\delta \cdot n_i=0.5 \cdot 200=100 \text{ мг/м}^3$.

Вершинный исход (ВИ3) — летальный исход. Восприимчивость к летальному исходу выражается через стократное значение ПДК: $n_i=2000$; абсолютная погрешность представления параметра восприимчивости к летальному исходу: $\Delta_i=\delta \cdot n_i=0.5 \cdot 2000=1000 \text{ мг/м}^3$.

ters in relation to the selected vertex outcomes (2) is linear, and the parametric models of vertex outcomes for the selected negative factors on the example of carbon monoxide are presented in Fig. 6.

As follows from the left part of Fig. 6 (vertex outcome 1), the influence up to (and at the level of) core value equal to 10.5 mg/m^3 is reliable, with the probability of occurrence of this value is equal to one. At the level of the upper value (at the level of α cut or taking into account the implementation of "three sigma" rule), the probability of exposure is less than or equal to 0.003 [3, 5]. The relative error of parameters of susceptibility and influence is $\delta=50\%$.

The algorithm for preparation and reception of initial data for calculation of possible measures of emergence of three vertex outcomes on the example of carbon monoxide action on a worker contains the following stages

1) Selection of the values of the susceptibility parameter, as well as its errors representation for the following vertex outcomes.

The vertex outcome (VO1) — poisoning. Susceptibility to poisoning is expressed through the value of MPC: $n_i=20 \text{ mg/m}^3$; absolute error of representation of the susceptibility parameter: $\Delta_i=\delta \cdot n_i=0.5 \cdot 20=10 \text{ mg/m}^3$.

The lower border of susceptibility was determined from the dependence of $r_i-\Delta_{iR}$, mg/m^3 , the upper border — from the dependence of $s_1+\Delta_{is}$, mg/m^3 .

The vertex outcome (VO2) — asphyxiation. Susceptibility to asphyxiation is expressed through a tenfold value of MPC: $n_i=200 \text{ mg/m}^3$; absolute error of representation of the susceptibility parameter to asphyxiation: $\Delta_i=\delta \cdot n_i=0.5 \cdot 200=100 \text{ mg/m}^3$.

Vertex outcome (VO3) is a lethal outcome. Susceptibility to a lethal outcome is expressed in terms of a hundred-fold value of MPC: $n_i=2000$; absolute error of representation of the susceptibility parameter to lethal outcome: $\Delta_i=\delta \cdot n_i=0.5 \cdot 2000=1000 \text{ mg/m}^3$.

2) Измерение значений параметра воздействия s : $n_{изм}=21$ мг/м³ и абсолютной погрешности Δs его представления: $\Delta s = \delta \cdot n_i = 0.5 \cdot 21 = 10.5$ мг/м³.

В результате исследований установлено, что приведенный параметрический запас безопасности равен $zb_{ai}=0.46$, а возможностная мера отравления работника равна $1-zb_{ai}=0.54$.

На рис. 6 изображены ход и результаты расчета возможностной меры трёх вершинных исходов.

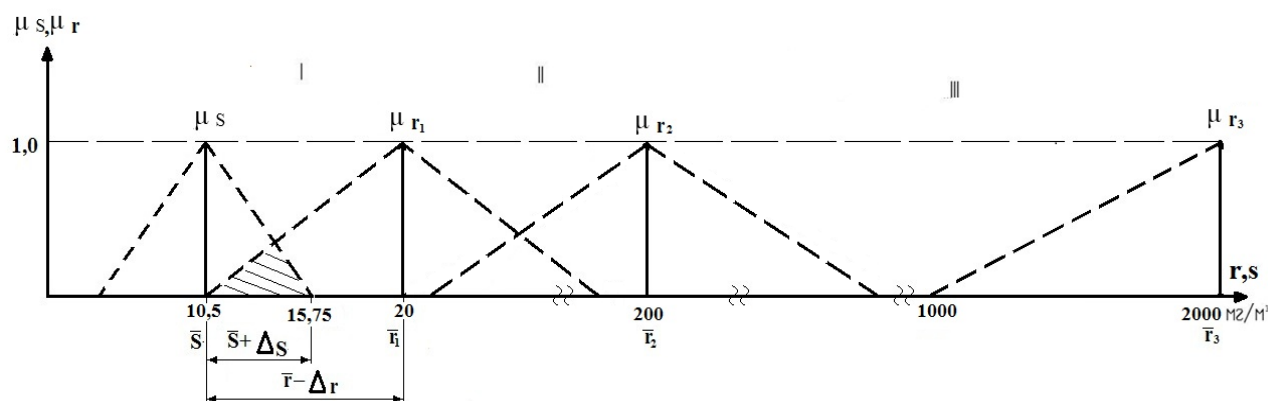


Рис. 6. Демонстрация реализации трех вершинных исходов с работником на примере действия оксида углерода

Fig. 6. Demonstration of the implementation of three vertex outcomes for an employee on the example of carbon monoxide

Отметим некоторые нюансы установления статистической частоты конкретного вершинного исхода — отравления работника цеха. Значение статистической частоты $p^* = 0.3...0.7$ было получено путем опроса работников служб охраны труда и медицинских пунктов. Выполнение этого этапа экспертизы потребовало учета, систематизации и накопления случаев искомых вершинных исходов (и их значимых предпосылок). На взгляд авторов, этот этап должен быть обязательным для специалистов по охране труда, экспертов страхования и инспекторов дорожно-патрульной службы. Сравнительный анализ указал на приемлемую близость полученных результатов расчета возможностных мер к статистическим данным по реализации исходов заболевания или поражения работников. Таким образом, предложенный алгоритм подготовки и расчета количественной меры реализации возможных вариантов происшествия может быть исполь-

2) Measurement of the values of the parameter s : $n_{изм}=21$ мг/м³ and the absolute error Δs of its representation: $\Delta s = \delta \cdot n_i = 0.5 \cdot 21 = 10.5$ мг / м³.

As a result of the researches it is established that the given parametric safety margin is equal to $zb_{ai}=0.46$, and a possible measure of a worker poisoning is equal to $1-zb_{ai}=0.54$.

Fig. 6 shows the course and the results of the calculation of the probability measure of three vertex outcomes.

Let us note some of the nuances of statistical frequency setting of a specific outcome vertex of employees' poisoning. The value of statistical frequency $p^* = 0.3...0.7$ was obtained through a survey of employees of occupational health services and clinics. The implementation of this stage of the examination required accounting, systematization and accumulation of cases of the desired outcomes (and their significant prerequisites). In the authors' opinion, this stage should be obligatory for specialists in occupational safety, insurance experts and inspectors of road patrol service. The comparative analysis showed the acceptable proximity of the obtained results of calculation of possible measures to statistical data on realization of outcomes of workers' disease or injury. Thus, the offered algorithm of preparation and calculation of quantitative measure of realization of possible incidents can be used for the solu-

зован для решения задач оценки показателей безопасности и риска конкретных систем.

Заключение. Разработана новая факторная интервальная концепция, позволяющая унифицировано описать параметрические предпосылки происшествий с помощью интервалов восприимчивости на основе применения упрощенной модели «воздействие — ослабление — восприимчивость». Предложен алгоритм подготовки и расчета количественной меры реализации возможных вариантов происшествия, получены зависимости для вероятностной и возможностной мер вершинных исходов, а также оценки показателей безопасности для конкретных производственных задач.

Библиографический список

1. Болотин, В. В. Статистические методы в строительной механике / В. В. Болотин. — Москва : Стройиздат, 1965. — 324 с.
2. Волков, Е. Б. Основы теории надежности ракетных двигателей / Е. Б. Волков, Р. С. Судаков, Т. А. Сырицин. — Москва : Машиностроение, 1974. — 344 с.
3. Чернявский, О. А. Оценка достоверности расчета малой вероятности разрушения для единичных конструкций / О. А. Чернявский, А. В. Шадчин // Прикладная математика и механика. — 2010. — № 4. — С. 118–123.
4. Острейковский, В. А. Вероятностное прогнозирование работоспособности ЯЭУ / В. А. Острейковский, Н. Л. Сальников. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — 316 с.
5. Есипов, Ю. В. Мониторинг и оценка риска систем «защита — объект — среда» / Ю. В. Есипов, Ф. А. Самсонов, А. И. Черемисин. — Москва : Изд-во ЛКИ, 2013. — 138 с.
6. Махутов, Н. А. Конструкционная прочность, ресурс, и техногенная безопасность. В 2 ч. / Н. А. Махутов. — Новосибирск : Наука,

tion of tasks of safety and risk indicators assessment of certain systems.

Conclusion. A new factorial interval concept has been developed, which allows us to describe consistently parametric background of incidents with intervals of susceptibility on the basis of a simplified model "influence - — weakening - susceptibility". The algorithm is suggested for preparation and calculation of a quantitative measure of possible options of incidents, the dependences for probability and possibility measures of vertex outcomes as well as the assessment of safety performance indicators for specific production tasks are provided.

References

1. Bolotin, V.V. Statisticheskie metody v stroitel'noy mekhanike. [Statistical methods in structural mechanics.] Moscow: Stroyizdat, 1965, 324 p. (in Russian).
2. Volkov, E.B., Sudakov, R.S., Syritsin, T.A. Osnovy teorii nadezhnosti raketnykh dvigateley. [Fundamentals of the reliability theory of rocket engines.] Moscow: Mashinostroyeniye, 1974, 344 p. (in Russian).
3. Chernyavskaya, O.A., Shadchin, A.V. Otsenka dostovernosti rascheta maloy veroyatnosti razrusheniya dlya edinichnykh konstruktсий. [Accuracy evaluation of the calculation of a small probability of destruction for a single design.] Prikladnaya matematika i mekhanika, 2010, no. 4, pp. 118-123 (in Russian).
4. Ostreykovskiy, V.A., Salnikov, N.L. Veroyatnostnoye prognozirovaniye rabotosposobnosti YAEU. [Probabilistic forecasting performance of nuclear power systems.] Moscow: Energoatomizdat, 1990, 316 p. (in Russian).
5. Esipov, Y.V., Samsonov, F.A., Cheremisin, A.I. Monitoring i otsenka riska sistem "zashchita – ob'ekt – sreda". [Monitoring and risk assessment of systems "protection — object — environment".] Moscow: Izd-vo LKI, 2013, 138 p. (in Russian).
6. Makhutov, N.A. Konstruktsionnaya prochnost', resurs i tekhnogennaya bezopasnost'. V 2 ch. [Structural strength, resource, and technogenic safety. In 2 parts.] Novosibirsk: Nauka, 2005, part 1, 494 p.; part 2, 610 p. (in Russian).
7. Clir, J. Sistemologiya. Avtomatizatsiya

2005. — Ч. 1. — 494 с. ; Ч. 2. — 610 с.

7. Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир. — Москва : Радио и связь, 1990. — 422 с.

8. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. — Москва : Мир, 1989. — 286 с.

9. Есипов, Ю. В. Логическое и параметрическое моделирование предпосылок и установление меры определенности реализации происшествия в системе / Ю. В. Есипов, М. С. Джиляджи, А. И. Черемисин // Безопасность в техносфере. — 2017. — № 2. — С. 3–12.

10. Есипов, Ю. В. Разработка алгоритма расчета вероятностного показателя безопасности технической системы «защита — объект — среда» / Ю. В. Есипов, М. С. Джиляджи, Н. С. Маматченко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2017. — № 1. — С. 76–89.

11. Корн, Г. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. — Москва : Наука, 1974. — 832 с.

12. Егельская, Е. В. Оценка риска человеческого фактора в системе «персонал — подъемные механизмы — производственная среда» на предприятиях машиностроения / Е. В. Егельская, А. А. Короткий // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2015. — Т. 15, № 1 (80). — С. 131–137

13. Киселёва, Ю. Ю. Повышение безопасности труда на основе управления профессиональными рисками / Ю. Ю. Киселёва, В. Л. Гапонов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2013. — Т. 13, № 1–2 (70–71). — С. 76–85.

resheniya sistemnykh zadach. [Systemology. Automation of solving system problems.] Moscow: Radio i svyaz', 1990, 422 p. (in Russian).

8. Dyubua, D., Prad, A. Teoriya vozmozhnostey. Prilozheniya k predstavleniyu znaniy v informatike. [Theory of possibilities. Annexes to the representation of knowledge in computer science.] Moscow: Mir, 1989, 286 p. (in Russian).

9. Esipov, Y.V., Dzhilyadzhi, M.S., Chere-misin, A.I. Logicheskoe i parametricheskoe modelirovanie predposylok i ustanovlenie mery opredelennosti realizatsii proisshestviya v sisteme. [Logical and parametric modeling of the prerequisites and the establishment of a measure of the certainty of the implementation of the incident in system.] Safety in Technosphere, 2017, no. 2, pp. 3-12 (in Russian).

10. Esipov, Y.V., Dzhilyadzhi, M.S., Mamatchenko, N.S. Razrabotka algoritma rascheta veroyatnostnogo pokazatelya bezopasnosti tekhnicheskoy sistemy "zashita – ob'ekt – sreda". [Development of calculation algorithm of the probability safety index of the technical system "protection - object - environment".] Safety of Technogenic and Natural Systems, 2017, no. 1, pp. 76-89 (in Russian).

11. Korn, G., Korn, T. Spravochnik po matematike. Dlya nauchnykh rabotnikov i inzhin-erov. [Mathematics handbook. For scientists and engineers.] Moscow: Nauka, 1974, 832 p. (in Russian).

12. Egelskaya, E.V., Korotkiy, A.A. Otsenka riska chelovecheskogo faktora v sisteme "personal – pod'emnye mekhanizmy – proizvodstvennaya sreda" na predpriyatiyakh mashinostroeniya. [Risk assessment of human factor in the "personnel - lifting hoists — production environment" in enterprises of mechanical engineering.] Vestnik of Don State Technical University, 2015, vol. 15, no. 1 (80), pp. 131-137 (in Russian).

13. Kiseleva, Yu.Yu., Gaponov, V.L. Pov-yshenie bezopasnosti truda na osnove upravleniya professional'nymi riskami. [Safety increase on the basis of professional risk management.] Vestnik of Don State Technical University, 2013, vol. 13, no. 1-2 (70-71), pp. 76-85 (in Russian).

14. Martynenko, A.A., Novikov, V.V. Obos-novanie matematicheskoy modeli resheniya zadachi otsenki riskov bezopasnosti truda na predpriyatiyakh mashinostroeniya. [Justification

14. Мартыненко, А. А. Обоснование математической модели решения задачи оценки рисков безопасности труда на предприятиях машиностроения / А. А. Мартыненко, В. В. Новиков // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 12, № 8 (69). — С. 68–72.

15. Сызранцев, В. Н. Расчет прочностной надежности изделий на основе методов непараметрической статистики / В. Н. Сызранцев, Я. П. Невелов, С. Л. Голофаст. — Новосибирск : Наука, 2008. — 218 с.

16. Есипов, Ю. В. Модель отказов «прочность — нагрузка» при перекрывающихся распределениях параметров в условии их одностороннего допуска (статистический подход) / Ю. В. Есипов, Ю. И. Васильченко // Надежность и контроль качества. — 1994. — № 3. — С. 7–13.

17. Есипов, Ю. В. Модель отказов «прочность — нагрузка» при перекрывающихся распределениях параметров в условии их одностороннего допуска (гипотетический подход) / Ю. В. Есипов, Ю. И. Васильченко // Надежность и контроль качества. — 1996. — № 5. — С. 27–41.

of the mathematical model of solving the problem of risk assessment of labour safety at the enterprises of mechanical engineering.] Vestnik of Don State Technical University, 2012, vol. 12, no. 8 (69), pp. 68-72 (in Russian).

15. Syzrantsev, V.N., Nevelov, Ya.P., Golofast, S.L. Raschet prochnostnoy nadezhnosti izdeliy na osnove metodov neparametricheskoy statistiki. [The calculation of the strength reliability of products based on the methods of nonparametric statistics.] Novosibirsk: Nauka, 2008, 218 p. (in Russian)

16. Esipov, Yu.V., Vasilchenko, Yu.I. Model' otkazov "prochnost' – nagruzka" pri perekryvayushchikhsya raspredeleniyakh parametrov v uslovii ikh odnostoronnego dopuska (statisticheskii podkhod). [Failure model "strength — load" with overlapping distributions of the parameters in the unilateral tolerance (statistical approach).] Nadezhnost' i kontrol' kachestva, 1994, no. 3, pp. 7-13 (in Russian).

17. Esipov, Yu.V., Vasilchenko, Yu.I. Model' otkazov "prochnost' – nagruzka" pri perekryvayushchikhsya raspredeleniyakh parametrov v uslovii ikh odnostoronnego dopuska (gipoteticheskii podkhod). [Failure model "strength — load" with overlapping distributions of the parameters in the unilateral tolerance (hypothetical approach).] Nadezhnost' i kontrol' kachestva, 1996, no. 5, pp. 27-41 (in Russian).

Поступила в редакцию 08.02.2018

Сдана в редакцию 09.02.2018

Запланирована в номер 20.04.2018

Received 08.02.2018

Submitted 09.02.2018

Scheduled in the issue 20.04.2018

Есипов Юрий Вениаминович,

*профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»
Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор,
yu-yesipov5@yandex.ru*

Esipov Yuri Veniaminovich,

*professor of Department of life Safety and environmental protection of the Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation), doctor of sciences, professor,
yu-yesipov5@yandex.ru*



Цыба Евгений Эдуардович,
студент Донского государственного техниче-
ского университета университета (РФ, г. Ро-
стов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) ,
Evgeni_cyba@mail.ru

Джаюсси Мохаммад,
аспирант кафедры «Безопасность жизнедея-
тельности и защита окружающей среды»
Донского государственного технического уни-
верситета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гага-
рина, 1),
yu-yesipov5@yandex.ru

Tsyba Evgeny Eduardovich,
student of of the Don State Technical University (Ga-
garin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
Evgeni_cyba@mail.ru

Joussi Mohammad,
postgraduate student of the the Don State Tech-
nical University, (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation,
yu-yesipov5@yandex.ru