

УДК 614.87

DOI 10.23947/2541-9129-2018-3-4-52-63

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-ВОЗМОЖНОСТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОИСШЕСТВИЯ В МНОГОФАКТОРНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СТАЛЕЛИТЕЙНОГО ЦЕХА*Ю. В. Есипов, Е. В. Щечкина, В. В. Масленский*

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

yu-yesipov5@yandex.ru;
n1923@donpac.ru;
victor.maslensky@yandex.ru

В целях создания матрицы стандартных логических и параметрических моделей происшествий и аварий, описанных в соответствии с «Типовым положением о системе управления охраной труда (СУОТ)», проанализирована многофакторная техническая система «печь — отливка — работник» плавильно-заливочного участка сталелитейного цеха. В результате, учитывая определенные статистическим методом вероятности возникновения предпосылок, построены логические модели происшествий, на основании которых была произведена оценка возможностной меры реализации вершинных исходов (ВИ) на уровне достигнутой приближенности. Для ВИ с учетом гигиенических нормативов составлена таблица интервалов значений параметров воздействия и восприимчивости в штатных и аварийных условиях работы системы, а также построена возможностная форма функции реализации ВИ, демонстрирующая степень отклонения параметра вредного (опасного) фактора от нормативных значений.

Ключевые слова: техническая система, лингвистическая модель, вершинный исход, СУОТ, логическая модель

Введение. В качестве объекта исследования авторами была выбрана техническая система «печь — отливка — работник» плавильно-заливочного участка сталелитейного цеха № 40 ООО «ПК НЭВЗ», где производится 327 видов

UDC 614.87

DOI 10.23947/2541-9129-2018-3-4-52-63

APPLICATION OF LOGICAL-AND-POSSIBILITY METHOD FOR RAPID ASSESSMENT OF ACCIDENT PROBABILITY IN A MULTIVARIABLE TECHNICAL SYSTEM OF THE STEEL FOUNDRY*Y. V. Esipov, E. V. Shchekina, V.V. Maslenskiy*

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

yu-yesipov5@yandex.ru;
n1923@donpac.ru;
victor.maslensky@yandex.ru

In order to create a matrix of standard logical and parametric models of accidents and emergencies described in accordance with the "Model Regulations on Occupational Health and Safety Management System (OHSAS)", the paper analyzes multivariable technical system "furnace – casting – worker" of melting and casting site of the foundry. In the result, taking into account probabilities of preconditions occurrence found by the statistical method, the authors have built logical models of accidents on the basis of which has been made the assessment of possibility measures of implementation of apical outcomes (AO) at the level of the degree of approximation. For AO given hygienic standards, a table was drawn up of intervals of influence and susceptibility parameters values in normal and emergency system conditions. The possibility form of function of AO implementation showing the degree of deviation of the harmful (dangerous) factor parameter from the standard values was built.

Keywords: technical system, linguistic model, apical outcome, OHSAS, logic model

Introduction. As the object of study, the authors have chosen the technical system "furnace – casting – worker" of melting and casting site of steel shop No. 40 OOO "PK NEVZ", which

деталей для электровозов. Расплав стали получают при помощи дуговой сталеплавильной печи ДС5М, для изготовления отливок применяют песчаные формы.

Технологический процесс в рассматриваемой технической системе осуществляется по схеме: «завалка лома → продувка → взятие пробы, замер температуры → слив металла → слив шлака → заливка расплава в песчаные формы → изъятие отливки».

Для оценки вероятности реализации ВИ необходимо выполнить ряд условий [1–3]:

- 1) построить лингвистическую модель происшествий;
- 2) выбрать ВИ согласно «Типовому положению о СУОТ»;
- 3) построить логические модели ВИ с учетом полного набора связей предпосылок;
- 4) рассчитать возможностную меру реализации ВИ.

Построение лингвистической модели происшествий. Лингвистическая модель происшествий строится на основании анализа потенциальной опасности технической системы.

В элементе системы «печь — работник» были идентифицированы следующие вредные и опасные производственные факторы [4]:

- инфракрасное излучение, возникающее ввиду отсутствия средств коллективной защиты (воздушного душирования), которое может стать причиной теплового удара у работника с дальнейшей потерей сознания при условии неиспользования средств индивидуальной защиты (войлочной шляпы);
- ультрафиолетовое излучение расплава, которое приводит к ожогу сетчатки и конъюнктивы глаза работника в случае неиспользования средств индивидуальной защиты (защитных очков).

Элемент системы «отливка — работник» характеризуется присутствием:

- вредных паров и газов (NO_2 , CO , SO_2), выделяющихся из-за неисправности средств коллективной защиты (вытяжных зонтов), способных вызывать отравление организма при продолжительном воздействии на работника

produces 327 types of parts for electric locomotives. The molten steel is obtained by using an electric arc furnace DS5M, sand molds are used for castings.

The technological process in the considered technical system is carried out according to the scheme: "scrap charge → blowing in → sampling, temperature measurements → tapping → tapping of slag → melt loading in the sand casting → casting removal".

To assess the probability of AO implementation, a number of conditions must be met [1-3]:

- 1) build a linguistic model of accidents;
- 2). choose AO according to the "Model Regulations on OHSAS";
- 3) build logical models of AO taking into account the full set of precondition relationships;
- 4) calculate the possible measure of the AO implementation.

Building a linguistic model of accidents. The linguistic model of accidents is based on the analysis of potential danger to the technical system.

The following harmful and dangerous production factors were identified in the element of the "furnace — worker" system [4]:

- infrared radiation arising due to the lack of collective protective equipment (spot cooling), which can cause heat exhaustion of an employee with the further loss of consciousness under the condition of non-use of personal protective equipment (felt hats);
- ultraviolet radiation of the melt, which leads to a burn of retina and conjunctiva of an employee's eye in case of non-use of personal protective equipment (protective eyewear).

Element of the system "casting-worker" is characterized by the presence of:

- harmful vapors and gases (NO_2 , CO , SO_2) released due to malfunction of collective protection means (exhaust hoods) capable of causing poisoning at prolonged exposure of an employee without personal protective equipment (respirator);

без средств индивидуальной защиты (респиратора);

– брызг расплавленного металла, которые могут попасть на незащищенные средствами индивидуальной защиты (брезентовыми рукавицами) участки предплечий работника, приводя к термическому ожогу.

Все вышеперечисленные происшествия и их предпосылки служат исходными данными для построения лингвистической модели, представленной на рис. 1.

– splashes of molten metal that can get on the unprotected personal protective equipment (tarpaulin gloves) areas of an employee's forearms, leading to thermal burns.

All of the above-mentioned accidents and their preconditions serve as initial data for the construction of the linguistic model presented in Fig. 1.

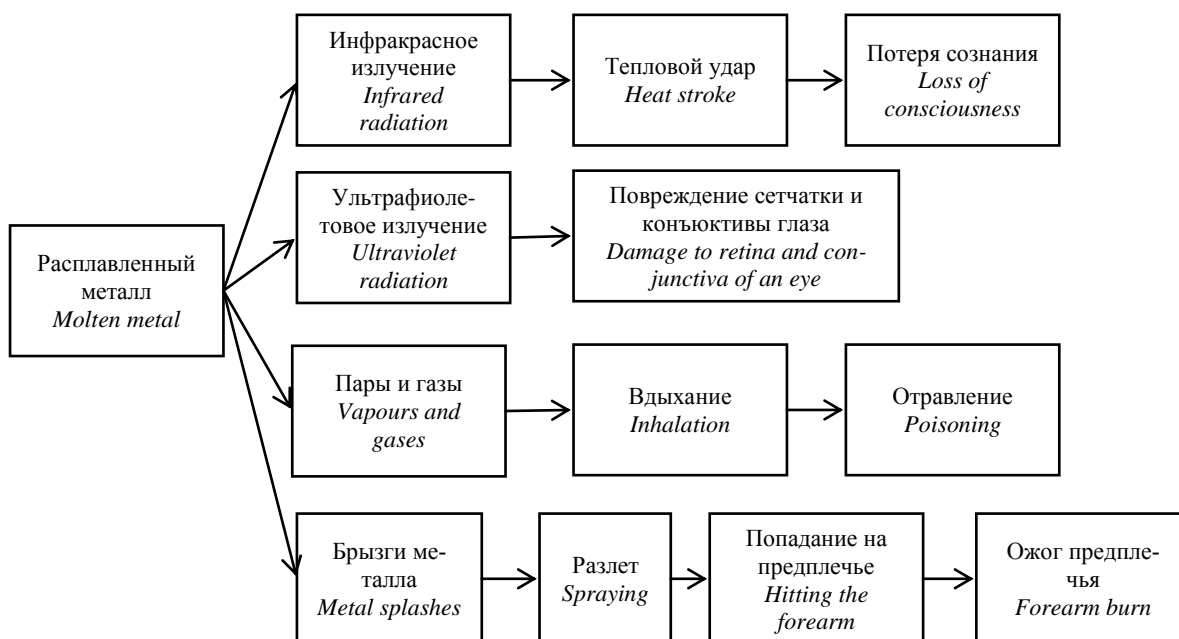


Рис. 1. Лингвистическая модель происшествия

Fig. 1. Linguistic model of an accident

Выбор ВИ согласно «Типовому положению о СУОТ». В качестве опасностей, представляющих угрозу жизни и здоровью работников, в «Типовом положении о СУОТ» представлены множества и подмножества ВИ [5]. Изучаемой технической системе соответствуют следующие:

ВИ1 — исход теплового удара от воздействия окружающих поверхностей оборудования, имеющих высокую температуру;

ВИ2 — исход от ожога роговицы глаза;

ВИ3 — исход от образования токсичных паров при нагревании;

ВИ4 — исход ожога от воздействия на незащищенные участки тела материалов, жидкостей или газов, имеющих высокую температу-

Selection of AO according to the "Model Regulations on OHSAS". Sets and subsets of AO [5] are presented in the "Model Regulations on OHSAS" as the hazards that pose a threat to the life and health of workers [5]. The following correspond to the studied technical system:

АО 1 — heat stroke outcome from the impact of the surrounding surfaces of the equipment having a high temperature;

АО 2 — corneal burns outcome;

АО 3 — outcome from the formation of toxic fumes when heated;

АО 4 — outcome from the burn from the exposure of unprotected parts of body to materials,

ру.

Построение логических моделей ВИ с учетом полного набора связей предпосылок. Логические модели ВИ строятся на основе неповторных булевых функций и их дизъюнктивной и конъюнктивной форм. При этом учитываются статистически определенные вероятности возникновения предпосылок происшествий [1–3].

По сведениям службы охраны труда ООО «ПК НЭВЗ» за год регистрируются случаи неиспользования средств индивидуальной защиты у 34 % работников сталелитейного цеха, при этом не соблюдают технологический процесс около 10 % [6].

Введем следующие обозначения:

y_1 — ВИ1;

x_{11} — отсутствие СКЗ (воздушного душирования), $x_{11}=1$;

x_{12} — неприменение СИЗ (войлочной шляпы), $x_{12}=0,66$.

Тогда

$$y_1 = x_{11} \wedge x_{12} \wedge t_1, \quad (1)$$

где $t_1 = I \geq \text{ПДУ}_1$ — условие превышения воздействия над восприимчивостью (потеря сознания возможна при превышении предельно-допустимого уровня ПДУ_1 интенсивностью теплового потока I). Интервалы значений параметров воздействия и восприимчивости в штатных и аварийных условиях системы представлены в табл. 1 [7, 8].

Обозначим

y_2 — ВИ2;

x_{21} — неприменение СИЗ (защитных очков), $x_{21}=0,66$.

Тогда

$$y_2 = x_{21} \wedge t_2, \quad (2)$$

где $t_2 = E \geq \text{ПДУ}_2$ — условие повреждения сетчатки и конъюнктивы глаза (повреждение происходит при превышении предельно-допустимого уровня ПДУ_2 эритемным потоком ультрафиолетового излучения E).

Для третьего вершинного исхода примем следующие обозначения:

y_3 — ВИ3;

liquids or gases having a high temperature.

Construction of logical models of AO taking into account the full set of precondition relationships. Logical models of AO are constructed on the basis of repetition-free Boolean functions and their disjunctive and conjunctive forms. This takes into account the statistically certain probability of occurrence of accident preconditions [1-3].

According to the labor protection service of ООО "PK NEVZ" every year, there are recorded cases of non-use of personal protective equipment in 34% of the steel shop workers, while not complying with the process is about 10 % [6].

We introduce the following notations:

y_1 — AO 1;

x_{11} — absence of collective protective equipment (spot cooling), $x_{11}=1$;

x_{12} — non-use of PPE (felt hat), $x_{12}=0.66$.

Then

$$y_1 = x_{11} \wedge x_{12} \wedge t_1, \quad (1)$$

where $t_1 = I \geq \text{ПДУ}_1$ — a condition of excess of exposure over susceptibility (loss of consciousness is possible when exceeding the maximum permissible level MPL_1 of intensity of the heat flux I). Intervals of values of influence and susceptibility parameters in regular and emergency conditions of the system are presented in Table 1 [7, 8].

Let us specify

y_2 — AO 2;

x_{21} — non-use of PPE (protective eye wear), $x_{21}=0.66$.

Then

$$y_2 = x_{21} \wedge t_2, \quad (2)$$

where $t_2 = E \geq \text{ПДУ}_2$ is the condition of damage to retina and conjunctiva of an eye (damage occurs when the maximum permissible level of MPL_2 is exceeded by the erythema flow of ultraviolet radiation E).

For the third apical outcome, we will specify

x_{31} — несовершенство СКЗ (вытяжных зонтов), $x_{31}=1$;

x_{32} — неприменение СИЗ (респиратора), $x_{32}=0,66$.

Тогда

$$y_3 = x_{31} \wedge x_{32} \wedge t_3, \quad (3)$$

где $t_3 = n \geq \text{ПДК}_1$ — условие отравления (отравление происходит при превышении предельно-допустимой концентрации ПДК₁ вредного вещества n).

Для четвертого вершинного исхода примем следующие обозначения:

y_4 — ВИ4;

x_{41} — нарушение технологического процесса, $x_{41}=0,90$;

x_{42} — неприменение СИЗ (брезентовых рукавиц), $x_{42}=0,66$.

Тогда

$$y_4 = (x_{41} \vee x_{42}) \wedge t_4, \quad (4)$$

где $t_4 = T_{\text{бр}} \geq T_{\text{мин}}$ — условие получения ожога (ожог наступает, если температура брызг металла $T_{\text{бр}}$ превышает минимальную температуру для ожога $T_{\text{мин}}$).

the following notations:

y_3 - АО3;

x_{31} -imperfection of CPE (exhaust hood), $x_{31}=1$;

x_{32} - non-use of PPE (respirator), $x_{32}=0.66$.

Then

$$y_3 = x_{31} \wedge x_{32} \wedge t_3, \quad (3)$$

where $t_3 = n \geq \text{ПДК}_1$ — condition of poisoning (poisoning occurs when exceeding the maximum permissible concentrations MPC₁ of harmful substances n).

For the fourth apical outcome, let us specify the following notation:

y_4 - АО 4;

x_{41} — violation of technological process, $x_{41}=0.90$;

x_{42} -non-use of PPE (tarpaulin gloves), $x_{42}=0.66$.

Then

$$y_4 = (x_{41} \vee x_{42}) \wedge t_4, \quad (4)$$

where $t_4 = T_{\text{бр}} \geq T_{\text{мин}}$ — the condition of the burn injury (the burn occurs when the temperature of weld spatter $T_{\text{бр}}$ exceeds the minimum burn temperature $T_{\text{мин}}$).

Таблица 1

Table 1

Интервалы значений параметров воздействия и восприимчивости
в штатных и аварийных условиях работы системы

*Intervals of values of influence and susceptibility parameters
in regular and emergency conditions of system operation*

Номер фактора, t <i>Factor number, t</i>	Наименование фактора и его параметра; обозначение, размерность <i>Name of the factor and its parameter; designation, dimension</i>	Ощутимый эффект действия на биовид, $i = 1$ <i>Perceptible effect of an action on biospecies, i = 1</i>	Значительный эффект действия, $i = 2$ <i>Significant effect of an action, i = 2</i>	Критический (летальный) эффект действия, $i = 3$ <i>Critical (lethal) effect of an action, i = 3</i>
$t = 1$	Физический, интенсивность теплового потока; I , Вт/м ² <i>Physical, heat flux intensity; I, W / m²</i>	ПДУ ИК-излучения <i>MPL of IR radiation</i> $s_{11} \geq r_{11}$ $r_{11} = 280 \div 560$ $s_{11}^* = 2500$	Головокружение <i>Dizziness</i> $s_{11} \geq r_{12}$ $r_{12} = 2100 \div 3500$ $s_{11}^* = 2500$	Тепловой удар <i>Heat stroke</i> $s_{11} \geq r_{13}$ $r_{13} > 3500$ $s_{11}^* = 2500$

$t = 2$	Физический, эритемный поток ультрафиолетового излучения; E , мЭР-ч/м ² <i>Physical, erythemic flux of ultraviolet radiation;</i>	ПДУ УФ- излучения <i>MPL of UV radiation</i> $s_{21} \geq r_{21}$ $r_{21} = 7,5$ $s_{21}^* = 30$	Раздражение <i>Irritation</i> $s_{21} \geq r_{22}$ $r_{22} = 10 \div 60$ $s_{21}^* = 30$	Ожог роговицы <i>Corneal burn</i> $s_{21} \geq r_{23}$ $r_{23} > 60$ $s_{21}^* = 30$
$t = 3$	Химический, концентрация вещества (NO_2); n , г/м ³ <i>Chemical, concentration of substance (NO_2); n, g/m³</i>	ПДК вещества <i>MPC of a substance</i> $s_{31} \geq r_{31}$ $r_{31} = 2$ $s_{31}^{**} = 2,2$	Потеря сознания <i>Loss of consciousness</i> $s_{31} \geq r_{32}$ $r_{32} = 20$ $s_{31}^{**} = 2,2$	Отравление <i>Poisoning</i> $s_{31} \geq r_{33}$ $r_{33} = 200$ $s_{31}^{**} = 2,2$
$t = 4$	Термический, температура брызги; $T_{бр}$, °C <i>Thermal, the temperature of weld spatter; $T_{бр}$, °C</i>	Допустимое значение температуры <i>Permissible temperature value</i> $s_{41} \geq r_{41}$ $r_{41} = 45$ $s_{41} = 400$	Ожог 1-й/2-й степени <i>1st/2nd degree burn</i> $s_{41} \geq r_{42}$ $r_{42} = 50 \div 100$ $s_{41} = 400$	Ожог 3-й/4-й степени <i>3rd/4th degree burn</i> $s_{41} \geq r_{43}$ $r_{43} > 100$ $s_{41} = 400$

* Примечание: значения параметров s_{11} и s_{21} были получены в результате расчета по следующим формулам:

* Note: the values of parameters s_{11} and s_{21} were calculated using the following formulas:

$$I = \rho / r^2,$$

где ρ — плотность теплового потока, Вт; r — расстояние до источника, м.

where ρ is the heat flux density, W; r is the distance to the source, m.

$$E = e / r^2,$$

где e — эритемный поток, мЭР-ч; r — расстояние до источника, м.

where e — erythemal flow; r — distance to the source, m.

** Значение параметра s_{31} определено из карты специальной оценки условий труда рабочего места сталевара.

** The value of the parameter s_{31} was determined from the special assessment card of the working conditions of the steelworker's workplace.

Анализ таблицы 1 показывает, что параметры всех вредных и опасных факторов превышают допустимые значения, оказывая различный эффект действия на организм: физические факторы — значительный эффект, химический фактор — ощутимый эффект, термический — критический эффект.

В итоге к потере работоспособности приводит реализация одного из представленных происшествий. Таким образом, получаем логическое условие потери работоспособности работником в заданной технической системе:

$$Y = y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4. \quad (5)$$

The analysis of Table 1 shows that the parameters of all harmful and dangerous factors exceed the permissible values, providing a different effect on the body: physical factors - significant effect, chemical factor - perceptible effect, thermal - critical effect.

As a result, the implementation of one of the presented accidents leads to the loss of efficiency. Thus, we obtain a logical condition for the worker's loss of efficiency in a given technical system:

$$Y = y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4. \quad (5)$$

Преобразование логической модели в нечеткую (возможностную) модель. Преобразование логической (булевой) функции происшествия в возможностную (нечеткую) форму происшествия производится при помощи оператора возможности (*possibility*) Pos [1–3]:

$$y_1 = x_{11} \wedge x_{12} \wedge t_1,$$

$$\Pi_1 = Pos(y_1=1) = \min(\Pi_{x_{11}}; \Pi_{x_{12}}; \Pi_{t_1}), \quad (6)$$

где $\Pi_{t_1} = Pos(I \geq \text{ПДУ}_1)$;

$$y_2 = x_{21} \wedge t_2,$$

$$\Pi_2 = Pos(y_2=1) = \min(\Pi_{x_{21}}; \Pi_{t_2}), \quad (7)$$

где $\Pi_{t_2} = Pos(E \geq \text{ПДУ}_2)$;

$$y_3 = x_{31} \wedge x_{32} \wedge t_3,$$

$$\Pi_3 = Pos(y_3=1) = \min(\Pi_{x_{31}}; \Pi_{x_{32}}; \Pi_{t_3}), \quad (8)$$

где $\Pi_{t_3} = Pos(n \geq \text{ПДК}_1)$;

$$y_4 = (x_{41} \vee x_{42}) \wedge t_4,$$

$$\Pi_4 = Pos(y_4=1) = \min(\max(\Pi_{x_{41}}; \Pi_{x_{42}}); \Pi_{t_4}), \quad (9)$$

где $\Pi_{t_4} = Pos(T_{\text{бр}} \geq T_{\text{мин}})$;

$$Y = y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4,$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\Sigma} = Pos(Y=1) = & \max(\Pi_{y_1}; \Pi_{y_2}; \Pi_{y_3}; \Pi_{y_4}) = \\ & \max(\min(\Pi_{x_{11}}; \Pi_{x_{12}}; \Pi_{t_1}); \\ & \min(\Pi_{x_{21}}; \Pi_{t_2}); \\ & \min(\Pi_{x_{31}}; \Pi_{x_{32}}; \Pi_{t_3}); \\ & \min(\max(\Pi_{x_{41}}; \Pi_{x_{42}}); \Pi_{t_4})). \quad (10) \end{aligned}$$

Формула (10) является итоговой для определения возможностной меры потери работоспособности работником.

Расчет возможностной меры реализации ВИ. Заключительным этапом в оценке возможностной меры реализации ВИ является определение значения приведенного запаса безопасности \bar{z}_b (табл. 2), учитывающего погрешности СИЗ ($\delta_s=0,5$) и средств измерения ($\delta_r=0,5$) и функцию ослабления ($f=0,5$) [1–3].

Transformation of logical model into fuzzy (possibilistic) model. Transformation of logical (Boolean) functions of the accident into possibilistic (fuzzy) form of the accident is provided by the possibility operator (*possibility*) Pos [1–3]:

$$y_1 = x_{11} \wedge x_{12} \wedge t_1,$$

$$\Pi_1 = Pos(y_1=1) = \min(\Pi_{x_{11}}; \Pi_{x_{12}}; \Pi_{t_1}), \quad (6)$$

where $\Pi_{t_1} = Pos(I \geq \text{ПДУ}_1)$;

$$y_2 = x_{21} \wedge t_2,$$

$$\Pi_2 = Pos(y_2=1) = \min(\Pi_{x_{21}}; \Pi_{t_2}), \quad (7)$$

where $\Pi_{t_2} = Pos(E \geq \text{ПДУ}_2)$;

$$y_3 = x_{31} \wedge x_{32} \wedge t_3,$$

$$\Pi_3 = Pos(y_3=1) = \min(\Pi_{x_{31}}; \Pi_{x_{32}}; \Pi_{t_3}), \quad (8)$$

where $\Pi_{t_3} = Pos(n \geq \text{ПДК}_1)$;

$$y_4 = (x_{41} \vee x_{42}) \wedge t_4,$$

$$\Pi_4 = Pos(y_4=1) = \min(\max(\Pi_{x_{41}}; \Pi_{x_{42}}); \Pi_{t_4}), \quad (9)$$

where $\Pi_{t_4} = Pos(T_{\text{бр}} \geq T_{\text{мин}})$;

$$Y = y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4,$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\Sigma} = Pos(Y=1) = & \max(\Pi_{y_1}; \Pi_{y_2}; \Pi_{y_3}; \Pi_{y_4}) = \\ & \max(\min(\Pi_{x_{11}}; \Pi_{x_{12}}; \Pi_{t_1}); \\ & \min(\Pi_{x_{21}}; \Pi_{t_2}); \\ & \min(\Pi_{x_{31}}; \Pi_{x_{32}}; \Pi_{t_3}); \\ & \min(\max(\Pi_{x_{41}}; \Pi_{x_{42}}); \Pi_{t_4})). \quad (10) \end{aligned}$$

Formula (10) is final to determine the possible measure of the worker's loss of productivity.

Calculation of possible measures of AO implementation. The final step in the assessment of possible measures of AO implementation is the value definition of the given margin of security \bar{z}_b (Table. 2), taking into account the errors of PPE ($\delta_s=0.5$) and measuring instruments ($\delta_r=0.5$) and the attenuation function ($f=0.5$) [1–3].

Таблица 2

Table 2

Исходные данные и расчетные значения приведенного запаса безопасности для определения возможностной меры реализации ВИ

The initial data and the estimated values of margin of security y to determine possible measures of AO implementation

Наименование, формула <i>Name, formula</i>	ВИ1 <i>AO1</i>	ВИ2 <i>AO2</i>	ВИ3 <i>AO3</i>	ВИ4 <i>AO4</i>
Параметр восприимчивости, <i>r</i> <i>Susceptibility parameter, r</i>	2100÷3 500	10÷60	2	> 100
Параметр воздействия, <i>Influence parameter</i> $s=V \cdot f$	1250	15	1,1	200
Погрешность средств измерения, <i>Errors of measuring instruments</i> $\Delta_r = \delta_r \cdot r$	1400	17,5	1	250
Погрешность СИЗ, <i>Errors of PPE</i> $\Delta_s = \delta_s \cdot s$	625	7,5	0,55	100
Приведенный запас безопасности, <i>Estimated margin of safety</i> $\bar{zb} = \frac{(r-s)}{(\Delta_r + \Delta_s)}$	0,77	0,80	0,58	0,86
Возможностная мера, <i>Possible measure</i> $\pi = 1 - \bar{zb}$	0,23	0,20	0,42	0,14

На основании полученных данных строим возможностную форму функции реализации ВИ (рис. 2) [9].

On the basis of the obtained data, we construct a possible form of the function of AO implementation (Fig. 2) [9].

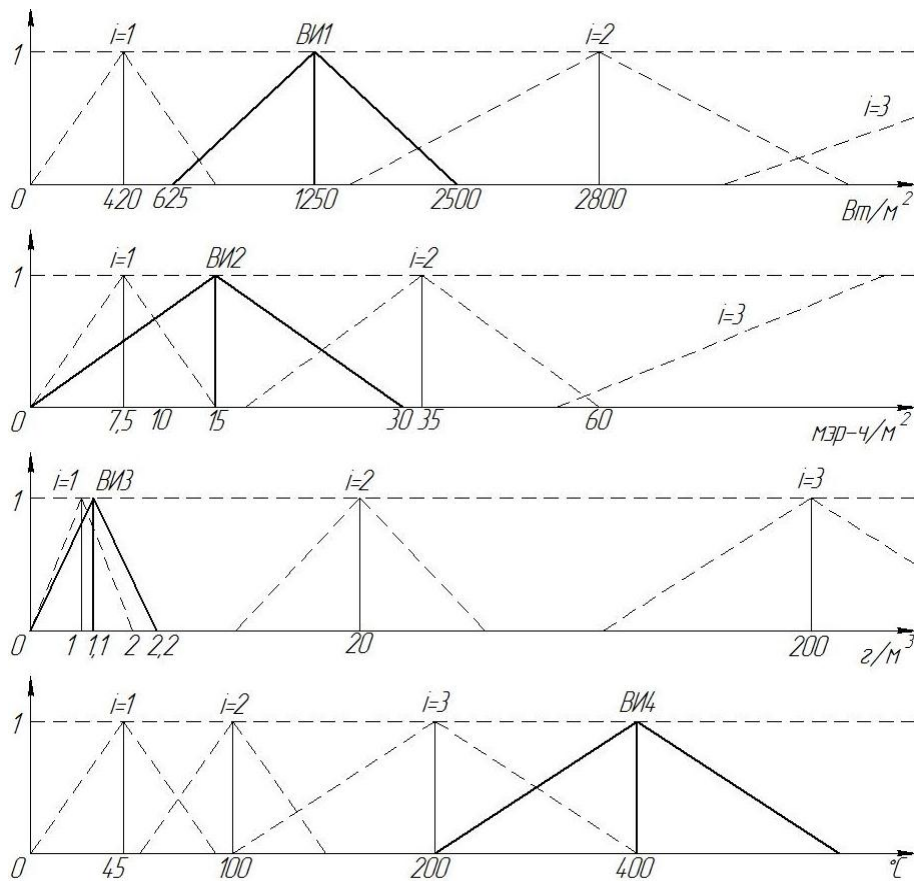


Рис. 2. Возможная форма функции реализации ВИ

Fig. 2. The possible form of the function of AO implementation

Возможная мера потери работоспособности работником составит величину, равную:

$$P_{\Sigma} = \text{Pos}(Y=1) = \max(\min(1; 0,66; 0,23); \min(0,66; 0,20); \min(1; 0,66; 0,42); \min(\max(0,90; 0,66); 0,14)) = \max(0,23; 0,20; 0,42; 0,14) = 0,42.$$

Заключение. В результате исследования для технической системы «печь — отливка — работник» были выявлены наиболее характерные вредные и опасные производственные факторы, приводящие к различного рода происшествиям, и получены следующие значения возможностной меры реализации ВИ:

- ВИ1 (исход от теплового удара) — 23 %;
- ВИ2 (исход от ожога роговицы глаза) — 20 %;
- ВИ3 (исход от отравления) — 42 %;
- ВИ4 (исход от ожога предплечья) — 14 %.

Возможностная мера потери работоспособности работником в заданной технической системе составляет 42 %.

The possible measure of the worker's loss of productivity will be equal to:

$$P_{\Sigma} = \text{Pos}(Y=1) = \max(\min(1; 0,66; 0,23); \min(0,66; 0,20); \min(1; 0,66; 0,42); \min(\max(0,90; 0,66); 0,14)) = \max(0,23; 0,20; 0,42; 0,14) = 0,42.$$

Conclusion. As a result of research for the technical system "furnace-casting-worker" the most characteristic harmful and dangerous production factors leading to various kinds of accidents were revealed, and the following values of possible measure of AO implementation were received:

- AO 1 (heat stroke outcome) - 23 %;
- AO 2 (outcome from cornea burn) — 20 %;
- AO 3 (outcome from poisoning) - 42 %;
- AO 4 (outcome from forearm burn) — 14 %.

The possible measure of the worker's loss of productivity in a given technical system is 42%.

Библиографический список

1. 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.
2. Есипов, Ю. В. Разработка алгоритма расчета вероятностного показателя безопасности технической системы «защита — объект — среда» [Электронный ресурс] / Ю. В. Есипов, М. С. Джиляджи, Н. С. Маматченко // Безопасность техногенных и природных систем. — Режим доступа : <http://bps-journal.ru/publications/1-2017/> (дата обращения : 21.09.17).
3. Есипов, Ю. В. Построение логической модели и оценка возможностной меры реализации вершинных исходов в системе «печь — отливка — работник» / Ю. В. Есипов, Е. В. Щекина, В. В. Масленский // Инновации и инжиниринг в формировании
4. Щекина, Е. В. Исследование условий труда и анализ производственного травматизма на металлургическом предприятии на примере ЗАО «Алкоа Металлург Рус» / Е. В. Щекина, А. С. Иванов // Инновации, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2014) : труды XI междунар. науч.-техн. форума. — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 147–154.
5. Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда : приказ Министерства труда и социальной защиты РФ № 438н // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2016. — № 37. — 19 с.

References

1. Esipov Y.V., Samsonov, F.A., Cheremisin, A.I. Monitoring i otsenka riska system "zashchita – ob'ekt - sreda". [Monitoring and risk assessment of systems "protection — object — environment".] Moscow, Izd-vo LKI, 2013, 138 p. (in Russian)
2. Esipov, Y.V., Dzilyadzhi, M.S., Mamatchenko, N.S. Razrabotka algoritma rascheta veroyatnostnogo pokazatelya bezopasnosti tekhnicheskoy sistemy "zashchita – ob'ekt - sreda". [Development of calculation algorithm of the probability safety index of the technical system "protection - object - environment".] Available at: <http://bps-journal.ru/publications/1-2017/> (in Russian).
3. Esipov, Y.V., Shchekina, E.V., Maslenskiy, V.V. Postroyeniye logicheskoy modeli i otsenka vozmozhnostnoy mery realizatsii vershinykh iskhodov v sisteme "pech' – otlivka - rabotnik". [Building a logical model and evaluation of a probabilistic measures of apical outcomes implementation in the system "furnace — casting — worker".] Innovatsii i inzhiniring v formirovaniy investitsionnoy privlekatel'nosti regiona: sb, nauch. trudov II otkrytogo mezhdunar. nauch.-praktich. foruma. [Innovation and engineering in the formation of investment attractiveness of the region: proc. of the II open international. scientific.-practical. forum.] Rostov-on-Don, 2017, pp 161-164 (in Russian).
4. Shchekina, E.V., Ivanov, A.S. Issledovanie usloviy truda i analiz proizvodstvennogo travmatizma na metallurgicheskom predpriyatii na primere ZAO "Alkoa Metallurg Rus". [Study of working conditions and analysis of occupational accidents at the metallurgical enterprise on the example of JSC "Alcoa Metallurg Rus". Innovatsii, ekologiya i resursosberegayushchie tekhnologii (InERT-2014): trudy XI mezhdunar. nauch.-tekhn. foruma. [Innovation, environment and sustainable technologies (InERT-2014): proc. of the XI intern. sci.- techn. forum.] Rostov-on-Don, 2014, pp. 147-154 (in Russian).
5. Ob utverzhdenii Tipovogo polozheniya o sisteme upravleniya okhranoy truda: prikaz Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity RF no. 438n. Sobranie zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii. [On the approval of Standard Regulations on Labor Protection Management System. Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation no. 438n. Collection of Legislative Acts of the Russian Federation.] 2016, no.37, 19 p. (in Russian).

6. Щекина, Е. В. Использование метода математического моделирования для прогнозирования уровня производственного травматизма в ООО «ПК НЭВЗ» / Е. В. Щекина, Р. Р. Лазуренко // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : сб. статей VII науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 384–398.

7. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : ГОСТ 12.1.005–88* ССБТ // Издательство стандартов. — 2017. — № 3. — 48 с.

8. Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях : СН 4557–88* // Сборник важнейших официальных материалов по санитарным и противозидемическим вопросам. — 2016. — № Т.1, Ч.1. — 34 с.

9. Есипов, Ю. В. Моделирование и визуализация зон риска системы на основе критерия «воздействие — восприимчивость» / Ю. В. Есипов, Ю. В. Горшкова, Р. И. Шишкин // Вестник Южного научного центра. — 2010. — Вып. 3, Т. 6. — С. 21–28.

Поступила в редакцию 04.05.2018
Сдана в редакцию 04.05.2018
Запланирована в номер 20.08.2018

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

6. Shchekina, E.V., Lazurenko, R.R. Ispol'zovanie metoda matematicheskogo modelirovaniya dlya prognozirovaniya urovnya proizvodstvennogo travmatizma v OOO "PK NEVZ". [Method of mathematical modeling to predict the level of industrial injuries at OOO "PK NEVZ".] Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii i metallurgii: sb. statey VII nauch.-prakt. konf. [Innovative technologies in mechanical engineering and metallurgy: proc. of VII sci.-pract. conf.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 384-398 (in Russian).

7. Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozdukhу rabochey zony: GOST 12.1.005-88* SSBT. [General sanitary and hygienic requirements for the working area air: GOST 12.1.005-88* Occupational safety standards system.] Izdatel'stvo standartov, 2017, no 3, 48 p. (in Russian).

8. Sanitarnye normy ultrafioletovogo izlucheniya v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh: SN 4557-88*. [Sanitary norms of ultraviolet radiation in industrial premises: SN 4557-88*.] Sbornik vazhneyshikh ofitsial'nykh materialov po sanitarnym i protivoepidemicheskim voprosam. [Collection of the most important official materials on sanitary and anti-epidemic issues.] 2016, no. vol. 1, part 1, 34 p. (in Russian).

9. Esipov, V.V., Gorshkova, Y.V., Shishkin, R.I. Modelirovanie i vizualizatsiya zon riska sistemy na osnove kriteriya "vozdeystvie – vospriimchivost". [Modeling and visualization of risk zones of the system based on the criterion of "impact — susceptibility".] Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra, 2010, iss. 3, vol. 6, pp. 21-28 (in Russian).

Received 04.05.2018
Submitted 04.05.2018
Scheduled in the issue 20.08.2018

Esipov Yuriy 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 technical Sciences, professor
yu-yesipov5@yandex.ru

Щекина Екатерина Викторовна,
доцент кафедры «Безопасность
жизнедеятельности и защита окружающей
среды», Донского государственного
технического университета (РФ,
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
кандидат технических наук, доцент
n1923@donpac.ru

Масленский Виктор Валерьевич,
магистрант кафедры «Безопасность
жизнедеятельности и защита окружающей
среды» Донского государственного техниче-
ского университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону,
пл. Гагарина, 1),
victor.maslensky@yandex.ru

Shchekina Ekaterina Viktorovna,
associate Professor of Department “Life safety
and environmental protection of the Don State
Technical University (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation), Candidate
of technical Sciences, associate Professor
n1923@donpac.ru

Maslenskiy Viktor Valerevich,
graduate student of Department “Life safety and
environmental protection” of the Don State Tech-
nical University (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation),
victor.maslensky@yandex.ru