

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0021

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РИСКОВ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАРУШЕНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

© 2022

Авдонина Любовь Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»
Вершинин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»

Пензенский государственный университет
(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru)

Аннотация. Рассматривается математическая модель прогнозирования аварийных рисков, обусловленных нарушением охраны труда при эксплуатации взрывоопасных изделий. Приводится пример, иллюстрирующий предложенную модель, показывающий, что для времени функционирования подсистемы «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда» $0 \leq t \leq 0,4\tau$ наблюдается нестационарный режим управления (комплектование штата), для $\tau > 0,4\tau$ стационарное управление (постоянный штат сотрудников). Анализируются граничные значения интенсивностей контроля в группах пониженного риска, возникающие перед работниками системы контроля задачи на начальный период ($0 \leq t \leq 0,4\tau$) функционирования объекта. Анализ динамики рисков подтвердил необходимость отстранения сотрудников предприятия, занятых с обращением взрывоопасных изделий, от выполнения должностных обязанностей при любом нарушении правил техники безопасности вне зависимости от его тяжести.

Ключевые слова: охрана труда, изделие, безопасность, потенциально опасный объект, марковский случайный процесс, аварийная ситуация, обслуживание взрывоопасных изделий.

A MODEL FOR PREDICTING EMERGENCY RISKS CAUSED BY A VIOLATION OF LABOR PROTECTION DURING THE OPERATION OF EXPLOSIVE PRODUCTS

© 2022

Avdonina Lyubov Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Technosphere Safety,
Vershinin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the department of Technosphere Safety,

Penza State University
(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40, e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru)

Abstract. The mathematical model of forecasting of emergency risks caused by violation of labor protection during operation of explosive products is considered. An example illustrating the proposed model is given, showing that for the time of operation of the subsystem "object of work with explosive products – environment". $0 \leq t \leq 0,4\tau$, non-stationary control is observed (a labor collective is formed at the facility), for $\tau > 0,4\tau$ – stationary control (a labor collective has been formed). The extreme values of control intensities in low-risk groups are considered, the task is set for the employees of the control system for the initial period ($0 \leq t \leq 0,4\tau$) of the object's functioning. It is shown that the control should identify all violations of the rules of operation of products, service personnel for violation of these rules are suspended from performing official duties.

Keywords: labor protection, product, safety, potentially dangerous object, Markov random process, emergency, maintenance of explosive products.

Введение. Второе десятилетие 21 века все больше подчеркивает значимость усилий, направленных на снижение рисков природных и техногенных катастроф, смягчение последствий чрезвычайных ситуаций за счет разработки современных систем управления рисками [1].

Определяющими условиями эффективности в области управления рисками и решения задач обеспечения безопасности является учет всего спектра существующих в техносфере опасностей и исчерпывающего объема данных обо всех принятых решениях в этой области.

При этом крайне важно, чтобы информация о существующей политике в области управления рисками была доступна широкому кругу заинтересованных

лиц [2, 23, 25].

Направления технической и технологической модернизации промышленности акцентированы на создании агломераций промышленных объектов различного назначения, сложности производственных цепочек, и, что естественно, рисков безопасности. Необходимо помнить о совокупной оценке рисков объекта промышленной агломерации с учетом существующей рискованной взаимосвязи объектов. Особенно в том случае, если не исключено их взаимное влияние, то есть быть источниками дополнительного риска [1, 3, 24, 25]. Очевидно, что эффективным будет лишь комплексный подход к принятию решений о методах снижения риска на современном промышленном предприятии, и именно таким образом обеспечивает-

ся приемлемый уровень риска для окружающей социальной сферы [4, 24].

Целью работы является создание математической модели возникновения чрезвычайной ситуации на объектах работ с взрывоопасными изделиями и снижение риска при производстве работ на потенциально опасном предприятии.

1. Группы риска обслуживающего персонала. Предлагается на основе теории управления стохастическими ветвящимися процессами [5] модель возникновения аварийного риска в подсистеме «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда» из-за нарушения правил эксплуатации взрывоопасных изделий обслуживающим персоналом [1].

По степени опасности производственного риска при обращении с взрывоопасными изделиями персонал можно разделить на несколько групп. Пусть количество работников в группах является случайной величиной: в группе №1 – $r_1(t) = h_1$, в группе №2 – $r_2(t) = h_2, \dots$, в n -ой группе – $r_n(t) = h_n$. Условимся, что уровень риска возрастает с ростом номера группы. Тогда процесс обращения с взрывоопасными изделиями легко представить в виде графа, в котором переход

работника в группу с большим номером происходит вследствие нарушения правил эксплуатации взрывоопасных изделий (ПБЭВИ), то есть риск закономерно возрастает с увеличением числа нарушений требований безопасности, что так же повышает вероятность отстранения работников от должностных обязанностей (рис. 1) [6].

Рассмотрим процесс повышения уровня риска при выполнении операций на опасном производственном объекте.

Запуск процесса происходит в некоторый начальный момент времени $\Delta t \rightarrow 0$, во время которого с вероятностью $P_{i,i+1}$ некоторый работник повышает группу риска, а в случае нарушения ПБЭВИ, происходящего с вероятностью P_i , отстраняется от выполнения своих должностных обязанностей [6, 22, 26].

Структура случайного (марковского) процесса, описывающего вероятностную модель развития процесса, приведена на рисунке 2.

Марковская модель системы подразумевает два процесса: изменение состояния системы вследствие случайного события $h_1, h_2, \dots, h_i, h_n$, или сохранение прежнего состояния [6].

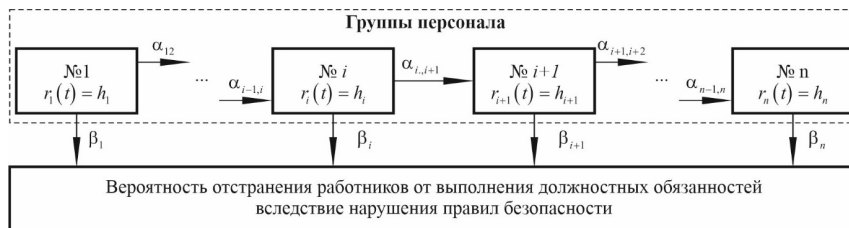


Рисунок 1 – Схема изменения номера группы персонала по уровню риска по количеству нарушений требований безопасности

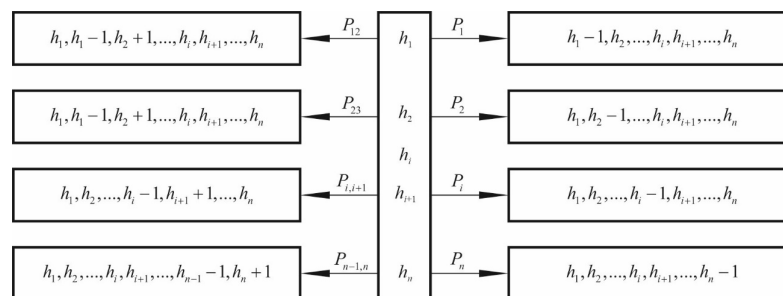


Рисунок 2 – Дерево вероятностных переходов случайного процесса изменения техногенного аварийного риска на объекте работ с взрывоопасными изделиями

Вероятность сохранения стохастической системы своего состояния определяем на основе методики, изложенной в Федеральном законе № 22-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»:

$$P(t + \Delta t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) = (1 - \sum_{i=1}^n h_i \alpha_{i,i+1} \Delta t + h_i \beta_i \Delta t) \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) + \sum_{i=1}^{n-1} (h_i + 1) \alpha_{i,i+1} \Delta t \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) + \sum_{i=1}^{n-1} h_{i+1} \beta_i \Delta t \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n). \quad (1)$$

Из (1) при $t \rightarrow 0$ получаем:

$$\begin{cases} \frac{dP(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n)}{dt} = - \sum_{i=1}^n h_i (\alpha_{i,i+1} + \beta_i) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) - \\ - (h_i + 1) ((\alpha_{i,i+1} + \beta_i) \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n)), \\ h_1 = 0, 1, 2, \dots; h_2 = 0, 1, 2, \dots; h_i = 0, 1, 2, \dots; \dots; h_n = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (2)$$

Уравнение (2) является линейным однородным дифференциальным уравнением.

2. Математическая модель возникновения чрезвычайной ситуации на объектах работ с взрывоопасными изделиями. Граничные (начальные) условия для расчета системы обыкновенных дифференциальных уравнений

(2) находим из условия случайного распределения работников между группами риска.

Получаем:

$$P(0; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) = \begin{cases} 1, \text{ если } h_1 = h_1^0, h_2 = h_2^0, \dots, h_i = h_i^0, \dots, h_n = h_n^0, \\ 0, \text{ если } h_1 \neq h_1^0, h_2 \neq h_2^0, \dots, h_i \neq h_i^0, \dots, h_n \neq h_n^0, \end{cases} \quad (3)$$

Система уравнений (2) с условиями (3) образуют вероятностную математическую модель возникновения ЧС на объектах работ с взрывоопасными изделиями вследствие нарушения ПБЭВИ [8, 22].

Преобразуем (2) в дифференциальное уравнение в частных производных относительно производящей функции, которая может быть представлена как сумма вероятностей событий системы при любом числе сотрудников в группах риска процесса:

$$\Phi(t; f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n) = \sum_{\substack{h_1=0 \\ \dots \\ h_i=0 \\ \dots \\ h_n=0}}^{\infty} P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) f_1^{h_1} f_2^{h_2} \dots f_i^{h_i} \dots f_n^{h_n}, \quad (4)$$

где f_1, f_2, \dots, f_n – некоторые переменные.

В общем виде решение уравнения (2) имеет вид: $\Phi(t; f_1, f_2, \dots, f_n) = \phi(o_1, o_2, \dots, o_n)$,

где ϕ – произвольная функция от 1 до n аргументов.

Функцию $\phi(o_1, o_2, \dots, o_n)$ определим из начального условия (3) $P(0; h_1^0, h_2^0, \dots, h_n^0) = 1$, все остальные вероятности равны нулю [6]:

$$\phi(o_1(0), o_2(0), \dots, o_n(0)) = f_1^{h_1^0} f_2^{h_2^0} \dots f_n^{h_n^0}, \quad (5)$$

где $f_1^{h_1^0} f_2^{h_2^0} \dots f_n^{h_n^0}$ – решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} f_1 - \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12} + \beta_1} f_2 = \frac{\beta_1 - e^{-(\alpha_{12} + \beta_1) o_1(0)}}{\alpha_{12} + \beta_1}, \\ f_2 - \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23} + \beta_2} f_3 = \frac{\beta_2 - e^{-(\alpha_{23} + \beta_2) o_2(0)}}{\alpha_{23} + \beta_2}, \\ \dots, \\ f_i - \frac{\alpha_{i,i+1}}{\alpha_{i,i+1} + \beta_i} f_{i+1} = \frac{\beta_i - e^{-(\alpha_{i,i+1} + \beta_i) o_i(0)}}{\alpha_{i,i+1} + \beta_i}, \\ \dots, \\ f_{n-1} - \frac{\alpha_{n-1,n}}{\alpha_{n-1,n} + \beta_{n-1}} f_n = \frac{\beta_{n-1} - e^{-(\alpha_{n-1,n} + \beta_{n-1}) o_{n-1}(0)}}{\alpha_{n-1,n} + \beta_{n-1}}, \\ f_n = \frac{\beta_n - e^{-\beta_n o_n(0)}}{\beta_n}. \end{cases}$$

Вероятность нахождения работников в группе риска от 1 до n в произвольный момент времени t определим через (4) [6]:

$$P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) = P\left(t; \begin{matrix} r_1(t) = h_1, \dots, r_n(t) = h_n \\ r_1(0) = h_1^0, \dots, r_n(0) = h_n^0 \end{matrix} \right) = \frac{1}{h_1! h_2! \dots h_i! \dots h_n!} \frac{\partial^{h_1 + h_2 + \dots + h_i + \dots + h_n} \Phi(t; 0; 0; \dots; 0; \dots; 0)}{\partial f_1^{h_1} \partial f_2^{h_2} \dots \partial f_i^{h_i} \dots \partial f_n^{h_n}}. \quad (6)$$

Математическое ожидание случайной величины $r_i(t) = h_i$:

$$M(r_i(t)) = \frac{\partial \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Дисперсия случайной величины $\mu_i(t) = h_i$:

$$D(r(t)) = \frac{\partial^2 \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i^2} + \frac{\partial \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i} - \left(\frac{\partial \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i} \right)^2, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Проведем анализ процесса, в ходе которого проводятся работы с взрывоопасными изделиями. Разделим штат персонала, занятого на работах, на три группы по степени риска возникновения ЧС в соответствии с графом распределения, приведенном на рисунке №1: первая группа – работники, редко нарушающие ПБЭВИ; вторая группа – работники, нарушения ПБЭВИ которыми не приводит к ЧС, то если их нарушения не носят тяжкий характер; третья группа – работники, нарушающие ПБЭВИ которые приводят к тяжелым последствиям, а сами нарушения носят грубый характер; в результате их действий возникает ЧС [9].

Аналитическое выражение для определения производящей функции принимает вид [6]:

$$\begin{aligned} \Phi(t; f_1, f_2, f_3) &= \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12} + \beta_1} \left(\frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23} + \beta_2} \left(1 - \frac{1 - f_3}{e^{\beta_3 t}} + \frac{\beta_2 - (\beta_2 + \alpha_{23} f_3 - (\alpha_{23} + \beta_2) f_2)}{e^{(\alpha_{23} + \beta_2) t}} + \frac{\beta_1 - (\beta_1 + \alpha_{12} f_2 - (\alpha_{12} + \beta_1) f_1)}{e^{(\alpha_{12} + \beta_1) t}} \right) \right) \right]^{h_1^0} \times \\ &\times \left[\frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23} + \beta_2} \left(1 - \frac{1 - f_3}{e^{\beta_3 t}} + \frac{\beta_2 - (\beta_2 + \alpha_{23} f_3 - (\alpha_{23} + \beta_2) f_2)}{e^{(\alpha_{23} + \beta_2) t}} \right) \right]^{m_2^0} \times \left[1 - \frac{1 - f_3}{e^{\beta_3 t}} \right]^{m_3^0}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из (6) и (9) определяем закон распределения случайных величин $\mu_1(t)=h_1$, $\mu_2(t)=h_2$, $\mu_3(t)=h_3$:

$$P(t; h_1, h_2, h_3) = \frac{h_1^0!}{h_1!h_2!h_3!(h_1^0-h_1-h_2-h_3)!} \cdot \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} \left(\frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} (1 - e^{-\beta_3 t}) + \frac{\beta_2}{\alpha_{23}+\beta_2} (1 - e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t}) \right) + \right. \\ \left. + \frac{\beta_1}{\alpha_{12}+\beta_1} (1 - e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}) \right]^{h_1^0-h_1-h_2-h_3} \cdot e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t} h_1 \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} (e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t} - e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}) \right]^{m_2} \times \\ \times \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} \cdot \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} (e^{-\beta_3 t} - e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t}) \right]^{m_3}. \quad (10)$$

Из (7) и (9) определяем $r_1(t)=h_1$, $r_2(t)=h_2$, $r_3(t)=h_3$:

$$\begin{cases} M(r_1(t)) = h_1^0 e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}, \\ M(r_2(t)) = h_2^0 \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} (e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t} - e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}), \\ M(r_3(t)) = h_3^0 \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} \cdot \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} (e^{-\beta_3 t} - e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t}). \end{cases} \quad (11)$$

Из (8), (9) определяем дисперсию:

$$D(r_i(t)) = M(r_i(t)) - \frac{M^2(r_i(t))}{h_i^0}. \quad (12)$$

Математические ожидания при $t=t_{max}$ в группах 2 и 3 принимают вид:

$$\begin{cases} M(r_2(t_{max})) = \frac{\alpha_{12} m_1^0}{\alpha_{12}+\beta_1} \left(\frac{\alpha_{23}+\beta_2}{\alpha_{12}+\beta_1-\alpha_{23}-\beta_2} \right), \\ t_{max} = \frac{1}{\alpha_{12}+\beta_2-\alpha_{12}-\beta_1} \ln \left(\frac{\alpha_{23}+\beta_2}{\alpha_{12}+\beta_1} \right), \\ M(r_3(t_{max})) = \frac{\alpha_{12} h_1^0}{\alpha_{12}+\beta_1} \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} \left(\frac{\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2} \right)^{\frac{\alpha_{23}+\beta_2-\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2}} \left(1 - \frac{\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2} \right), \\ t_{max} = \frac{1}{\alpha_{23}+\beta_2-\beta_3} \ln \left(\frac{\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2} \right), \\ \beta_3(\alpha_{23}+\beta_2) > \beta_2(\alpha_{12}+\beta_1). \end{cases} \quad (13)$$

3. Применение математической модели для прогнозирования ЧС. Можно разделить время за общий расчетный период математической модели на следующие этапы: «задание начальных условий и периода оценки рисков – контроль и коррекция процесса – фиксация результатов работы – коррекция процессов с учетом накопленных знаний»:

1. *Задание начальных условий и периода оценки рисков.* Математическая модель требует однозначного определения граничных (критических) значений рисков (вероятностей) возникновения ЧС на месте проведения работ с взрывоопасными изделиями в зависимости от числа работников, которые входят в группы риска 2 и 3.

2. *Контроль и коррекция процесса.* Математическая модель осуществляет контроль за процессами обращения с взрывоопасными изделиями за счет накопления статистических сведений.

3. *Фиксация результатов работы.* При помощи математической модели возможно зафиксировать интенсивности переходов $\alpha_{i,i+1}$ и β_i из решения уравнений (11), (13) или (12). Для оценки математического ожидания используется накапливаемый за время работы статистический материал. Качество статистического материала определяет точность возможной корректировки модели.

4. *Коррекция процессов с учетом накопленных знаний.* Математическая модель предсказывает возникновение ЧС на объекте работ с взрывоопасными изделиями, основываясь на законе распределения случайных величин (6). Полученные из модели интенсивности переходов $\alpha_{i,i+1}$ и β_i анализируются на предмет соответствия заданным критериям безопасности, при которых вероятность ЧС не должна превышать либо критических, либо некоторых наперед заданных запланированных значений. Корректировка происходит

до снижения вероятности ЧС до допустимых значений: критического или запланированного. Накопленные данные об изменении интенсивностей используются для дальнейшего управления процессом [6, 10].

Заключение. Предлагаемая математическая модель реализует управление безопасностью при выполнении работ с взрывоопасными изделиями на основе заданных критериев оптимальности. В качестве наглядного примера предложенной модели дано временное зонирование функционирования подсистемы «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда»: в период $0 \leq t \leq 0,4t$ наблюдается нестационарное управление (на объекте формируется штат обслуживающего персонала); при $t > 0,4t$ осуществляется стационарное управление (постоянный штат персонала, занятого на работах с изделиями).

Анализ работы математической модели позволяет сделать вывод о необходимости выявления всех нарушений техники безопасности, а сотрудники из числа обслуживающего персонала должны быть немедленно отстранены от выполнения должностных обязанностей за нарушение указанных правил [10, 26].

Таким образом, приведение системы в оптимальный режим безопасности возможно за счет корректировки участия работников разных групп, в процессе обращения с взрывоопасными изделиями, которая должна руководствоваться собранным статистическим материалом о ЧС за заданный период времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бондарь Е.В. Социальная экология: учебное пособие / Бондарь Е.В., Харин К.В. Ставрополь: СКФУ, 2017. 407 с.
2. Северцев Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: учебное пособие /Н.А. Северцев, В.К. Дедков. М.: Высшая школа, 2006. – С. 462.
3. Вершинин Н.Н. Проблемы техногенной безопасности. Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: Издательство ПГУ, 2003. С. 30-32.

4. Шахрамьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. М.: ФИД Деловой экспресс, 1998. 218 с.

5. Радаев Н.Н. Элементы теории риска потенциально опасных объектов. М.: РВСН, 2000. 323 с.

6. Плющ, А. А. Математическая модель прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объекте хранения боеприпасов при нарушении правил их эксплуатации обслуживающим персоналом // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2007. Т. 1. С. 234-237.

7. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 04.03.2013 № 22-ФЗ.

8. Курков, С.Н. Основы живучести потенциально опасных объектов. Монография. / С.Н. Курков, А.А. Плющ. – Пенза: ПАИИ, 2006. 248 с.

9. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. М.: Деловой экспресс, 2002. 183с.

10. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. М.: Высшая школа, 2000. 383 с.

11. Вершинин Н.Н. Безопасность как комплексный критерий оценки качества системы // Межвузовский сборник научных трудов. «Информационно-измерительная техника». Выпуск 28. Пенза: Издательство ПГУ. 2003. С. 17-19.

12. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 496 с.

13. Вершинин Н.Н. Определение показателей безопасности химически опасных объектов. //Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество-2003». Пенза: Издательство ПГУ, 2003. С. 411-412.

14. Вершинин Н. Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. // Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: Издательство ПГУ, 2003. С. 412-414.

15. Авдонина, Л.А. Процессный подход к созданию информационных систем поддержки прогнозных решений по оценке уровня безопасности технических объектов. Монография. / Л.А. Авдонина, В.И. Волчихин, А.К. Тарасов, Е.В. Тихомирова. Пенза: Издательство ПГУ, 2012. 230 с.

16. Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. М.: Наука, 1971. 436 с.

17. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – М.: Наука, 1974. 120 с.

18. Пушина А.А. Оценка качества научного исследования. / А.А. Пушина, Е.В. Тихомирова // Вестник Тверского государственного технического университета. 2009. Выпуск 14. С. 35-40.

19. Вершинин Н.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на объектах специального назначения. //Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество-2002». Пенза: Издательство ПГУ. 2002. С. 463-464.

20. Андреев Г.И., Тихомиров В.А. Научные основы теории систем и системного анализа // Материалы докладов семинара «Проблемные вопросы теории систем». Тверь: ВУ ПВО, 2000. С.287 - 295.

21. Боброва-Голикова, Л.П. Эргономика и безопасность труда. / Л.П. Боброва-Голикова, О.М. Мальцева и др. М.: Машиностроение, 1985.

22. Плющ А.А. Математическая модель оптимального управления безопасностью эксплуатации боеприпасов обслуживающим персоналом на объекте хранения. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2007. Т. 1. С. 50-52.

23. Курбатов В.И. Управление социальными рисками: учебно-методическое пособие дисциплины «Принципы построения управленческого решения». Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ. 2008. 80 с.

24. Авдонина Л.А. О принципах управления риском в обществе // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2009. Т. 2. С. 234-235.

25. Хасанова, Г.Б. Социальная экология: учебное пособие. М.: КноРус, 2016. 214 с.

26. Плющ, А. А. Оптимальное управление безопасностью на потенциально опасном объекте при эвакуации боеприпасов обслуживающим персоналом // Известия РАРАН. 2008. № 2(58). С. 68-72.

Статья поступила в редакцию 22.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022