

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0016

## УПРАВЛЕНИЕ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ И УНИЧТОЖЕНИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

©2022

**Авдониная Любовь Александровна**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Техносферная безопасность»

**Вершинин Николай Николаевич**, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Техносферная безопасность»

**Заонегин Антон Александрович**, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность»

*Пензенский государственный университет*

*(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40,*

*e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru, antofre@gmail.com)*

**Аннотация.** Рассматривается технологический процесс утилизации и уничтожения взрывоопасных изделий на потенциально опасном предприятии. Этот процесс должен быть максимально безопасным. Одним из направлений повышения безопасности является совершенствование системы управления охраной труда при выполнении данного технологического процесса. Рассматривается информационно-моделирующая среда прогнозирования риска возникновения аварийной ситуации на потенциально опасном объекте при проведении работ по уничтожению или утилизации взрывоопасных изделий разработанная на основе теории стохастических ветвящихся процессов. Оптимальное управление процессом работ по утилизации взрывоопасных изделий достигнуто на основе принципа максимума Понтрягина. Полученные результаты используются в качестве начального приближения в методе спуска в пространстве управлений, при минимизации функции риска. Разработана модель управления охраной труда в производственном процессе утилизации или уничтожении взрывоопасных изделий, обеспечивающего на нестационарном временном интервале, равном 1,4 часа  $< t < 3,4$  часа (начало проведения работ) максимальную безопасность при минимизации функции риска. Данная модель является частью методического сопровождения управления безопасностью на потенциально опасном объекте.

**Ключевые слова:** охрана труда, изделие, безопасность, потенциально опасный объект, принцип максимума Понтрягина, метод спуска в пространстве управлений, аварийная ситуация, утилизация взрывоопасных изделий.

## HEALTH MANAGEMENT DURING THE DISPOSAL AND DESTRUCTION 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,

**Zaonegin Anton Aleksandrovich**, senior lecturer of the department of technosphere safety,

*Penza State University*

*(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40,*

*e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru, antofre@gmail.com)*

**Abstract.** The technological process of disposal and destruction of explosive products at a potentially dangerous enterprise is considered. This process should be as safe as possible. One of the ways to improve safety is to improve the occupational safety management system when performing this technological process. The information modeling environment for predicting the risk of an emergency at a potentially dangerous facility during the destruction or disposal of explosive products is considered, developed on the basis of the theory of stochastic branching processes. Optimal management of the process of disposal of explosive products is achieved on the basis of the Pontryagin maximum principle. The results obtained are used as an initial approximation in the descent method in the control space, while minimizing the risk function. A model of occupational safety management in the production process of disposal or destruction of explosive products has been developed, ensuring

**Keywords:** labor protection, product, safety, potentially dangerous object, Pontryagin maximum principle, descent method in the control space, emergency situation, disposal of explosive products.

**Введение.** Рациональная организация охраны труда в системе «человек-производственный процесс» является краеугольным камнем, на котором базируются гарантии трудовых прав работающих, важнейшим направлением деятельности не только юридических лиц и индивидуальных предпринимателей,

но и органов власти всех уровней, включая местное самоуправление [1, 2, 21]. Современные тенденции к управлению трудовыми процессами в области охраны труда лишь укрепляют убежденность в необходимости правильной организации управления охраной труда при работе на потенциально опасных объектах

(ПОО), неотъемлемой частью которых являются предприятия химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также объекты военно-промышленного комплекса [3]. Крупнейшие аварии и катастрофы, произошедшие за более чем 20 лет нового тысячелетия в России и в ряде стран мира, свидетельствуют о важности научно-исследовательской работы в области теории безопасности, в которой важное место отводится охране и безопасности труда [4]. Непрерывный научно-технический прогресс, подталкивающий к усложнению производственных схем и осуществляющих их процессов, ставит вопросы охраны труда и безопасности ПОО на первый план и придает им самостоятельное значение [5]. Научное сообщество единогласно в своем мнении, что современные научные исследования, связанные с разработкой и внедрением в практику методов обеспечения безопасности функционирования ПОО за счет правильной организации охраны труда, являются как никогда актуальными.

Нормативная документация предписывает обязательное уничтожение и утилизацию взрывоопасных изделий по истечению назначенного срока. Структурирование процессов переработки и утилизации изделий данного класса однозначно относит их к категории особо опасных [22].

Нарушение технологического процесса вне зависимости от его характера и длительности многократ-

но повышает риски возникновения техногенных катастроф при проведении данного вида работ. В данной статье авторами представлены ряд методологических подходов к формированию информационно-моделирующей среды, являющейся составной частью методического сопровождения системы управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями, и преследующая своей целью снижение рисков возникновения техногенных катастроф [22].

### Материалы и результаты исследования.

1. Логическая схема технологического процесса утилизации, или уничтожения взрывоопасных изделий. Методология разработки информационно-моделирующей среды (ИМС) базируется на теории стохастических ветвящихся процессов [6], с помощью которых описывается логическая схема выполнения работ по уничтожению или утилизации взрывоопасных веществ.

На рисунке 1 показана логическая процесса подготовки взрывоопасных изделий и их утилизации, а на рисунке 2 представлена структурная схема вероятностных переходов.

На рисунках 1 и 2  $\mu_1(t)$ ,  $\mu_2(t)$ ,  $\mu_3(t)$  являются случайными величинами:  $\mu_1(t)$  – объем взрывоопасных изделий, находящихся на хранении в момент времени  $t$ ;  $\mu_2(t)$  – объем взрывоопасных изделий, подготовленных к утилизации;  $\mu_3(t)$  – объем взрывоопасных изделий, утилизированных, уничтоженных.

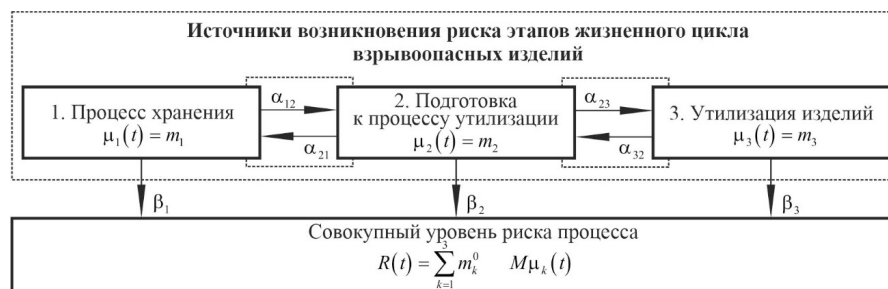


Рисунок 1 – Логическая процесса подготовки и утилизации взрывоопасных изделий

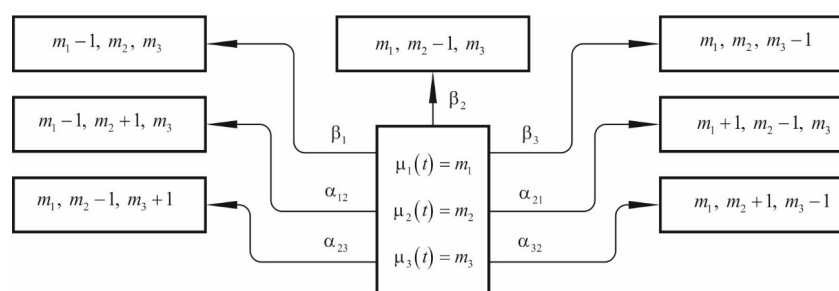


Рисунок 2 – Дерево вероятностных переходов

Разработка ИМС управления охраной труда и безопасностью процессов обращения с взрывоопасными изделиями с целью их переработки и утилизации направлена на поиск значений весовых коэффициентов  $\alpha_{ij}$  и  $\beta_i$ , выраженных как функции времени такого процесса, при котором риск возникновения ЧС минимален [7, 22].

Краевые значения получены на основе работы с открытыми источниками, такими как паспорта изделий,

статистические данные об объекте и процессах, на которых обращаются взрывоопасные изделия (табл. 1). Полученные значения используются в качестве граничных условий ИМС системы управления. Весовые коэффициенты вероятностного дерева отражают:  $\alpha_{ij}$  – среднее число взрывоопасных изделий, подготовленных к утилизации в единицу времени;  $\beta_i$  – среднее число ЧС в единицу времени при выполнении любого процесса на объекте [22].

Таблица 1 – Экстремумы значений  $\alpha_{ij}$  и  $\beta_i$

	$\alpha_{12}$	$\alpha_{21}$	$\alpha_{23}$	$\alpha_{32}$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
max	0,01	0,001	0,01	0,002	0,0000009	0,000009	0,000001
..	0,010	0,010	0,050	0,008	0,00001	0,0001	0,0001

2. Модель информационно-моделирующей среды управления безопасностью процесса утилизации или уничтожения взрывоопасных изделий. Оптимизации ИМС управления безопасностью процессов утилизации или уничтожения взрывоопасных изделий проводится на основе принципа максимума Понтрягина и метода спуска в пространстве управлений [8]. В этом случае граничные условия принимают вид [9, 22]:

$$P(t_0) = \begin{cases} 1, & \text{при } m_1 = m_1^0, m_2 = m_2^0, m_3 = m_3^0, \\ 0, & \text{при } (m_1, m_2, m_3) \neq (m_1^0, m_2^0, m_3^0); \end{cases} \quad (1)$$

$$P(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } (m_1, m_2, m_3) = (0, 0, m_1^0 + m_2^0 + m_3^0), \\ 0, & \text{при } (m_1, m_2, m_3) \neq (0, 0, m_1^0 + m_2^0 + m_3^0); \end{cases} \quad (2)$$

Граничное условие (1) устанавливает начальное состояние системы, где  $m_1^0$  – число изделий на хранении,  $m_2^0$  – подготовлено к утилизации,  $m_3^0$  – утилизировано. Граничное условие (2) определяет конечное состояние системы, при котором жизненный цикл взрывоопасного изделия завершен (за время  $\tau = T - t_0$  все  $m_1^0 + m_2^0 + m_3^0$  взрывоопасные изделия утилизированы или уничтожены).

Риск возникновения ЧС в данном случае представляет собой математическое ожидание числа взрывоопасных изделий, хранение, подготовка или утилизация создает опасную ситуацию:

$$R(t) = \sum_{k=1}^3 m_k^0 - M[\mu_k(t)], \quad (3)$$

где  $M$  – математическое ожидание количества взрывоопасных изделий.

На рисунках 3 и 4 приведены результаты оптимизации ИМС управления охраной труда при утилизации взрывоопасных изделий [10, 22].

На рисунке 3 показан результат оптимизации функции управления охраной труда  $u(t) = (\alpha_{12}(t), \alpha_{21}(t), \alpha_{23}(t), \alpha_{32}(t), \beta_1(t), \beta_2(t), \beta_3(t))$ , достигнутый за счет снижения среднего значения функции риска (3) в течение двух рабочих смен [11].

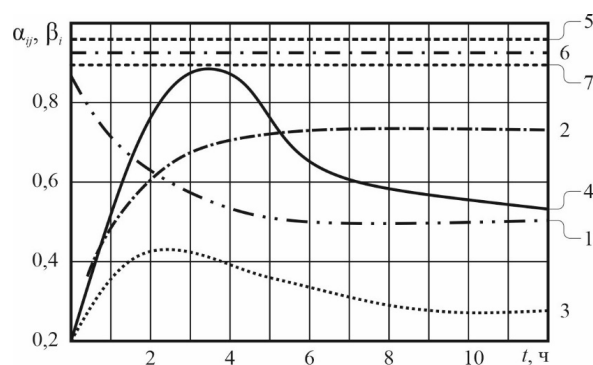


Рисунок 3 – Оптимизированный режим управления процессом утилизации взрывоопасных изделий:  
 $1 - \alpha_{12}(t) \cdot 10^{-1}$ ;  $2 - \alpha_{21}(t) \cdot 10^{-1}$ ;  $3 - \alpha_{23}(t) \cdot 10^{-1}$ ;  $4 - \alpha_{32}(t) \cdot 10^{-1}$ ;  
 $5 - \beta_1(t) \cdot 10^{-5}$ ;  $6 - \beta_2(t) \cdot 10^{-5}$ ;  $7 - \beta_3(t) \cdot 10^{-5}$   
 $m_1^0 = 2500, m_2^0 = 0, m_3^0 = 0$

На рисунке 4 показан уровень безопасности процессов обращения с взрывоопасными изделиями, достигнутый в результате оптимизации функции управления  $u(t)$ , выполненном при условии  $\bar{R}(t) = \min$  (3) за две рабочие смены персонала, занятого в процессах хранения, переработки или утилизации [11].

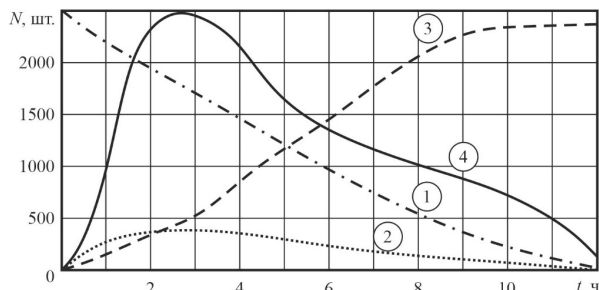


Рисунок 4 – Безопасность работ при утилизации взрывоопасных изделий:

$1 - M\mu_1(t)$ ;  $2 - M\mu_2(t)$ ;  $3 - M\mu_3(t)$ ;  $4 - R(t) \cdot 10^{-4}$ .

3. Выводы по результатам моделирования. При  $t < 3,9$  часа управление технологическим процессом нестационарное [12], а при  $t > 3,9$  часа – стационарное. На временном интервале, равном 1,4 часа  $t < 3,4$  часа (рис. 3), наблюдается нестационарный режим управления технологическим процессом, во время которого значительно возрастает риск возникновения ЧС при проведении работ – кривая 4 [13]. На рисунке 4 показано, что функция риска  $R(t)$  достигает наибольшего значения  $R_{\max}(t) = 0,251$  при  $t = 2,45$  часа, при этом все вероятности [22]:

$$P\{\mu_1(t) + \mu_2(t) + \mu_3(t) \neq 2500 | \mu_1(0) = 2500, \mu_2(0) = 0, \mu_3(0) = 0\} < 10^{-3}$$

Результаты управления безопасностью при выполнении работ с взрывоопасными изделиями  $u(t)$ , достигнутые при применении принципа максимума Понтрягина, могут быть использованы в качестве начального приближения в методе спуска в пространстве управлений, при минимизации функции риска (3) [14, 22].

Вычислительный процесс сходится при увеличении числа итераций ( $R(2,45) = 0,137$ ,  $M\mu_1(12) = 53,25$ ,  $M\mu_2(12) = 31,37$ ,  $M\mu_3(12) = 2348$ ). Максимальный  $R_{\max} = 0,137$ , при использовании принципа Понтрягина –  $R_{\max} = 0,251$ .

Таблица 2 – Сходимость результатов расчетов в методе спуска

№ итерации	1	2	3	4	5	6	7	8
$R(2,45)$	0,134	0,123	0,115	0,126	0,134	0,136	0,137	0,137
Mm	55,13	54,49	53,85	53,48	53,32	53,28	53,26	53,25
Mm	37,51	33,87	32,44	31,83	31,41	31,41	31,38	31,37
Mm	2490	2410	2383	2363	2355	2351	2349	2348

Снижение риска в методе спуска в пространстве управлений обусловлено минимизацией функции риска, но этот метод имеет и недостаток [15, 22].

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что утилизация взрывоопасных изделий не будет завершена в течение двух рабочих смен [16, 22]. Это связано особенностями метода спуска в пространстве управлений, при котором краевое условие (2) не выполняется [17, 22].

Очевидно, что управление нестационарным процессом утилизации взрывоопасных изделий значительно усложняет задачу снижения рисков процесса и требует увеличения расходов. Целесообразность затрат определяется снижением аварийности при стационарном управлении:

$$\alpha_{12}^0 = \alpha_{12}(12), \alpha_{21}^0 = \alpha_{21}(21), \alpha_{23}^0 = \alpha_{23}(12), \\ \beta_1^0 = \beta_1(12), \beta_2^0 = \beta_2(12), \beta_3^0 = \beta_3(12),$$

максимальный риск равен  $R_{max} = 0,739$  (при управлении на основе принципа Понтрягина  $R_{max} = 0,251$ ) [14, 22].

**Заключение.** Таким образом, на основе теории стохастических ветвящихся процессов [12] разработана модель управления охраной труда в производственном процессе потенциально опасного объекта [18,19] по утилизации или уничтожению взрывоопасных изделий, обеспечивающего на нестационарном временном интервале, равном 1,4 часа  $< t < 3,4$  часа (начало проведения работ) [20] максимальную безопасность при минимизации функции риска. Данная модель является частью методического сопровождения управления охраной труда для обеспечения безопасности на потенциально опасных объектах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Соколов М.Б. Руководство по охране труда. Мытищи: УПЦ «Талант», 2002. Часть 1. С. 224.
- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ. Редакция от 22.11.2021 (с последними изменениями).
- Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.
- Давыдов В.Г. Система управления охраной труда на машиностроительном предприятии / Давыдов В.Г., Кузьмин А.П. М.: Машиностроение, 1989. 160 с.
- Вершинин Н.Н. Проблемы техногенной безопасности. // Сборник трудов Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: Издательство Пензенского ГУ, 2003. С. 30-32.
- 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.
- Оленин Ю.А. Проблемы комплексного обеспечения охранно-территориальной безопасности и физической защиты особо важных объектов Российской Федерации // Проблемы объектовой охраны: сборник научных трудов. Вып. 1. Пенза: Издательство Пензенского ГУ. 2000. С. 8-50.
- Котляревский В.А., Кочетков К.Е., Носач А.А. Аварии и катастрофы: предупреждение и ликвидация последствий. М.: Издательство «Ассоциация строительных ВУЗов», 1995. 320 с.
- Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. М.: ИЦ «Академия», 2003. 512 с.
- Радаев Н.Н. Структура управления безопасностью потенциально опасных объектов // Известия вузов. Ядерная энергетика. 1998. № 2. С. 23-26.
- Вершинин Н.Н., Волчихин В.И., Тихомиров А.В. Управление сложными производственными и технологическими системами: монография. Пенза: Издательство Пензенского ГУ, 2004. 244 с.
- Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. М.: Наука, 1971. 367 с.
- Вершинин Н.Н. Анализ возможности повышения безопасности технических систем через управление риском // Вестник Костромского ГУ. Серия «Технические и естественные науки. Системный анализ. Теория и практика». Кострома: Издательство Костромского ГУ им. Н.А. Некрасова. № 2. 2006. С. 96-103.
- Северцев Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: Учебное пособие / Н.А. Северцев, В.К. Дедков. М.: Высшая школа. 2006. С. 462.
- Волчихин В.И. Управление сложными производственными и технологическими системами. Монография / В.И. Волчихин, Н.Н. Вершинин, А.В. Тихомиров. Пенза: Издательство Пензенского ГУ, 2004. 244 с.
- Авдонина Л.А. Концепция построения информационного обеспечения системы поддержки принятия решений / Авдонина Л.А., Вершинин Н.Н., Смогунов В.В. // Сборник трудов международного симпозиума «Надежность и качество - 2010». Том 1. Пенза: Издательство Пензенского ГУ. 2010. С.212-213.
- Пожаров А.И. Показатели и критерии военно-экономической безопасности // Военная мысль. № 6. 2000. С. 26 - 34.
- Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учебник для бакалавров. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт. 2012. 572 с.
- Авдонина Л.А. Оценка степени достижения целей при разработке управленческих решений / Авдонина Л.А., Вершинин Н.Н., Смогунов В.В. // Сборник трудов международного симпозиума «Надежность и качество - 2010». Том 1. Пенза: Издательство Пензенского ГУ. 2010. С.10-11.
- Вершинин Н.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. // Сборник трудов международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: ИИЦ ПТУ. 2003. С. 412-414.
- Безопасность труда в химической промышленности: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся в области химической технологии и биотехнологии / Л.К. Маринина, А.Я. Васин, Н.И. Торопов [и др.]. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 528 с.
- Плющ А.А. Управление безопасностью при проведении работ по уничтожению и утилизации боеприпасов. // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 9-10. С. 31-34.

*Статья поступила в редакцию 04.02.2022*

*Статья принята к публикации 10.03.2022*