

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0026

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ С ВЗРЫВООПАСНЫМИ ИЗДЕЛИЯМИ ОБСЛУЖИВАЮЩИМ ПЕРСОНАЛОМ

© 2022

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

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

Пензенский государственный университет

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

Аннотация. Технология выполнения работ с взрывоопасными изделиями производится в строгом соответствии с технической документацией и соблюдением мер безопасности труда на всех операциях. Важным фактором предупреждения несчастных случаев при выполнении работ с взрывоопасными изделиями на производстве отводится постоянному соблюдению требований охраны труда специально обученным личным составом, который проводит эти работы на предприятии. Для моделирования оптимального управления охраной труда используется вариационное исчисление. Так как работы с взрывоопасными изделиями являются очень опасными для исполнителей, то их необходимо тщательно готовить и проводить с тщательным соблюдением мер предосторожности. В статье рассматривается моделирование оптимального управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями обслуживающим персоналом. Задачи и цели управления в вариационном исчислении определяются функционалами, которые строят исходя из стратегий функционирования объекта. Рассмотрены группы риска обслуживающего персонала и правила перевода их из одного состояния в другое. Разработана модель управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями обслуживающим персоналом.

Ключевые слова: охрана труда, изделие, безопасность, потенциально опасный объект, обслуживающий персонал, метод спуска в пространстве управлений, математическая модель сохранения здоровья работников, принцип максимума Понтрягина, аварийная ситуация, группы риска.

MODELING OF OPTIMAL LABOR PROTECTION MANAGEMENT WHEN WORKING WITH EXPLOSIVE PRODUCTS BY SERVICE PERSONNEL

© 2022

Vershinin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the Department of Technosphere Safety

Avdonina Lyubov Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Technosphere Safety,

Penza State University

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

Abstract. The technology of work with explosive products is carried out in strict accordance with technical documentation and compliance with occupational safety measures at all operations. An important factor in preventing accidents when performing work with explosive products in production is the constant compliance with labor protection requirements by specially trained personnel who carry out these works at the enterprise. The calculus of variations is used to model the optimal management of occupational safety and health. Since work with explosive devices is very dangerous for performers, they must be carefully prepared and carried out with careful observance of precautions. The article discusses the modeling of optimal labor protection management when working with explosive products by service personnel. The tasks and goals of management in the calculus of variations are determined by the functionals that are built based on the strategies of the functioning of the object. The risk groups of service personnel and the rules for transferring them from one state to another are considered. A model of occupational safety management during work with explosive products by service personnel has been developed.

Keywords: labor protection, product, safety, potentially dangerous object, service personnel, descent method in the management space, mathematical model of employee health preservation, Pontryagin maximum principle, emergency situation, risk groups.

Введение. Для предупреждения несчастных случаев при выполнении работ с взрывоопасными изделиями, все работники предприятия обязательно должны пройти обучение по охране труда и инструктажи на рабочих местах с отметкой в книге инструктажа. Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, вклю-

чающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [1]. Для того, чтобы труд был безопасным, необходимо создать такие условия труда, чтобы они не оказывали негативного влияния, как на трудовой потенциал работников, так и на состояние их

здоровья [2].

Система управления охраной труда в организации, является неотъемлемой частью общей системы управления организацией и устанавливает:

- общие требования к созданию и функционированию системы управления охраной труда в организации;
- единый порядок подготовки, принятия и реализации решений по осуществлению организационно-технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий труда и сохранение здоровья работников [3];
- основные направления деятельности по охране труда и здоровья работников;
- обучение и повышение мотивации выполнения требований охраны труда всеми работниками предприятия [3].

Целью работы является моделирование оптимального управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Материалы и результаты исследования. 1. Моделирование оптимального управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями. По степени опасности производственного риска при обращении с взрывоопасными изделиями персонал можно разделить на несколько групп риска. Итак, классифицируем эксплуатационный персонал объ-

екта работ с взрывоопасными изделиями по группам риска с учетом уровня подготовки по охране труда. Градацию групп выполним в следующем порядке: чем выше номер группы, тем выше уровень риска возникновения аварийного риска вследствие нарушения требований безопасной эксплуатации. Численный состав групп примем как случайную величину $r_i(t) = h_i$, где i изменяется от 1 до n и является общим числом группы риска процесса [4].

При выполнении работ с взрывоопасными изделиями работниками могут возникать различные ситуации, влияющие на уровень риска:

- работники полностью или частично соблюдают требования безопасности, номер их группы риска не изменяется;
- действия работников приводят к нарушению требований безопасности, в результате чего резко возрастает аварийный риск, что побуждает руководителя отстранить работника от выполнения должностных обязанностей;
- происходит изменение штатного состава работников групп риска, что изменяет вклад группы в общий уровень риска.

Представим приведенные ситуации в виде графа перехода обслуживающего персонала из одной группы риска в другую, ситуацию отстранения работника от выполнения должностных обязанностей и включения в штат новых сотрудников, относящихся к той или иной группе риска (рис. 1).

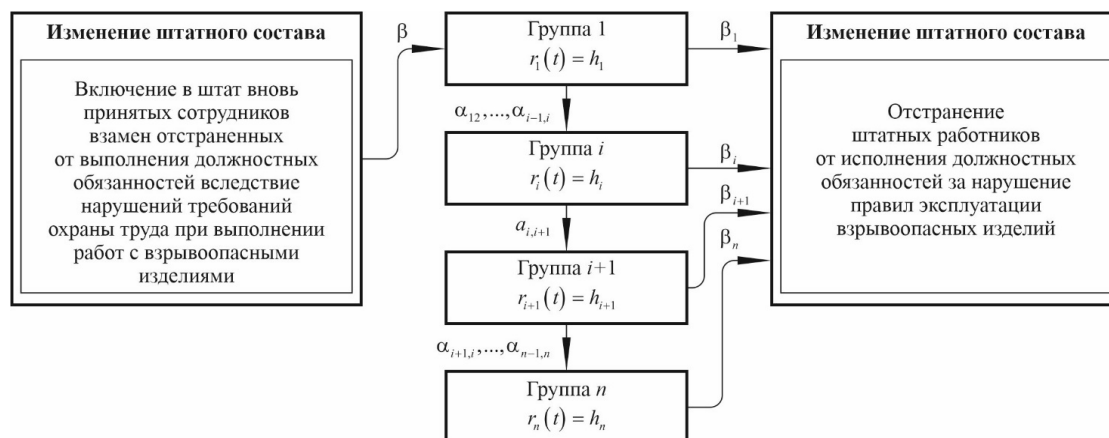


Рисунок 1 – Граф перехода обслуживающего персонала между группами по уровню риска

Любое нарушение требований охраны труда при работе с взрывоопасными изделиями учитывается в обязательном порядке. В том случае, если работник допустил грубое нарушение правил эксплуатации взрывоопасных изделий работодатель вправе не только отстранить работника от выполнения должностных обязанностей, но и уволить его из штата. В этом случае на место уволенного работника принимается новый [5].

Пусть за время Δt с вероятностью $P_{i,i+1} = h_i h_{i+1} + I \alpha_{i,i+1} \Delta t + b_i(\Delta t)$ любой работник, занятый на работах с взрывоопасными изделиями может попасть в более высокую группу риска, из группы i в группу $i+1$. В том случае, если работник допустил грубое нарушение правил

эксплуатации взрывоопасных изделий он может быть отстранен от выполнения должностных обязанностей работником с правом инспекционного контроля соблюдения требований охраны труда. Вероятность этого события может быть выражена как $P_i = h_i \Delta t + b_i(\Delta t)$. Если же работодателем принято решение об увольнении работника, то на его место принимается другой, а вероятность этого события выражается как $P_i = h_i \beta \Delta t + b_i(\Delta t)$ [6, 8].

Вероятность перехода работников между группами может быть оценена как интенсивность перехода $\frac{P_{i,i+1} + P_i}{\alpha_{i,i+1}}$. Интенсивность инспекционного контроля за соблюдением правил эксплуатации взрывоопасных изделий выражена β , прием новых работников как

накопление вклада всех нарушений во время работ: $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n$. Общий численный состав группы равен $h = h_1 + h_2 + \dots + h_n$. Члены вероятностных уравнений $b_1(\Delta t)$, $b_2(\Delta t)$, $b_3(\Delta t)$ – остаточные члены формул Тейлора, которые при $\Delta t \rightarrow 0$ стремятся к 0 [6, 8].

Схема случайного марковского процесса, который иллюстрирует переход обслуживающего персонала из одной группы риска в другую, приведен на рисунке 2.

Персонал, занятый эксплуатацией взрывоопасных изделий, может повысить свою группу риска, например, из группы i до группы $i+1$ с вероятностью прямо пропорциональной произведению $h_i h_{i+1}$. Не сложно увидеть, что данное произведение моделирует влияние человеческого фактора на риск при обращении с

взрывоопасными изделиями: недисциплинированный работник, являющийся фактором повышенного риска и находящийся в группе повышенного риска, оказывает негативное влияние на дисциплинированных работников, которые входят в состав более низкой группы риска [7].

В стохастической системе $h_1, h_2, \dots, h_{i-1}, h_i, \dots, h_n$ в произвольный момент времени t в группе i могут находиться $r_i(t) = h_i$ сотрудники, работа которых связана с эксплуатацией взрывоопасных изделий. Число работников в группе определяется вероятностью, что за некоторое время $t + \Delta t$ некий работник изменяет свою группу риска, либо сохраняет прежнюю, то есть $P(t; r_i(t) = h_i, r_2(t) = h_2, \dots, r_n(t) = h_n)$ или $P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)$ (рис. 1) [6, 8].

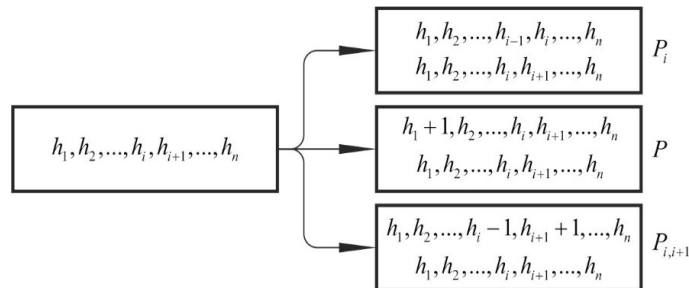


Рисунок 2 – Схема вероятностных переходов марковского процесса при изменении персоналом групп риска

Найдем вероятность того, что какое-то время $t + \Delta t$ случайный работник не изменит свою группу риска и продолжит работать в прежнем состоянии по методике, приведенной в [9, 10]:

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

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

$$+ ((h_1 + 1) \beta_1 \Delta t) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) + ((h - 1) \beta \delta_i \Delta t) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i - 1, h_{i+1}, \dots, h_n),$$
(1)

где $\delta_i = 1$, если $i = 1$ и $\delta_i = 0$, если $i \neq 1$.

Из (1) при получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dP(t; h_1, h_2, \dots, h_n)}{dt} = - \sum_{i=1}^n (h_i h_{i+1} \alpha_{i,i+1} + h_i \beta_i + h \beta \delta_i) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) -$$

$$- (h_i + 1)(h_{i+1} - 1) \alpha_{i,i+1} P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) - (h_i + 1) \beta_i P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) -$$

$$- (h - 1) \beta \delta_i P(t; h_1, h_2, \dots, h_i - 1, h_{i+1}, \dots, h_n), \quad h_{1,2,\dots,n} = 0, 1, 2, \dots$$
(2)

Начальное и конечное состояния деградации обслуживающего персонала объекта работ с изделиями математически опишем с помощью краевых условий для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2) [8]:

$$P(t_0; h_1, h_2, \dots, h_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0, h_2 = 0, \dots, h_n = 0. \end{cases}$$
(3)

$$P(t_0 + \tau; h_1, h_2, \dots, h_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0 - h_p, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0 - h_p, h_2 = 0, \dots, h_n = 0. \end{cases}$$
(4)

Граничное условие в уравнении (3) описывает исходное состояние объекта, при котором персонал обращается с взрывоопасными изделиями. Работники в количестве h_p прошли все необходимые инструктажи, стажировку, подтвердили знание правил безопасности в соответствии с должностными обязанностями и готовы к выполнению своих обязанностей. Граничное условие (4) описывает конечное состояние объекта [11].

Инспекционный контроль за время функционирования объекта τ выявил нарушения безопасности и отстранил от выполнения должностных обязанностей работников, допустивших нарушения правил эксплуатации взрывоопасных изделий. Работники, которые решением руководителя объекта были уволены, заменены другими сотрудниками. Так как процесс изменения штата объекта непрерывен, для безопасной

эксплуатации взрывоопасных изделий, количество работников не может быть меньше некоторой величины, которую можно назвать неуккомплектованностью штата – h_p [12].

Интенсивности перехода сотрудников между группами являются функциями времени: $\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i,i+1}(t)$, $\beta_i = \beta_i(t)$. Интенсивности перехода являются инструментом управления системы охраной труда объекта, на котором осуществляется эксплуатация взрывоопасных изделий [13].

2. Критерии оптимального управления охраной труда. Система управления охраной труда в рамках подсистемы «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда» решает задачу обеспечения безопасности за счет управления стохастическим ветвящимся процессом, описанным в форме обыкновенного

дифференциального уравнения (2) [14]. Достижения оптимального уровня управления возможно при использовании вариационного исчисления. Такой подход позволяет определить задачи и цели управления через функционалы, построенные на основе стратегий управления объектом. Стратегии управления могут быть заданы и исходят из текущих потребностей объекта. В качестве примера, рассмотрим одну из таких стратегий.

Пусть для некоторого объекта известна интенсивность перехода персонала из более низкой группы риска в более высокую рисковую группу: $\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i,i+1}^0(t)$. Зная статистику функционирования объекта, на котором обращаются взрывоопасные изделия в течение длительного времени, например, нескольких лет, становится возможным определить интенсивность этих переходов [15].

Известна особенность восприятия работниками сложившихся условий труда, называемая «привыканием к опасности». При «привыкании к опасности» работник подсознательно начинает преуменьшать важность установленных мер безопасности, начинает отступать или полностью игнорирует правила безопасности при проведении работ с взрывоопасными изделиями.

Важно отметить, что длительное снижение трудовой дисциплины в сфере охраны труда приводит к распространению практики игнорирования требований безопасности на всю группу, значительно повышая вероятность аварийной ситуации [16].

Учитывая специфику трудовых взаимоотношений, можно сформулировать правило «нулевой толерантности» к нарушениям правил эксплуатации взрывоопасных изделий персоналом со стороны инспекционного контроля в подсистеме «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда». В этом случае любой работник объекта, замеченный в нарушении требований безопасности при обращении с

взрывоопасными изделиями, в обязательном порядке отстраняется от выполнения своих должностных обязанностей. Замещение таких работников происходит на основании решения руководителя с учетом требований безопасности по минимальной комплектации штата объекта. Вновь принятые работники до допуска к самостоятельной работе проходят производственное обучение в объеме должностных обязанностей [17]. С математической точки зрения поставленная задача может быть реализована минимизацией функционала:

$$J(\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_n(t)) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \left(\sum_{i=1}^n (\alpha_{i,i+1}^0(t) - \beta_i(t))^2 \right) dt \quad (5)$$

Инспекционный контроль объекта должен обладать правами и обязанностями по решению поставленных задач (регламент контроля, персонал, необходимые технические средства и т.д.) Требования к ресурсному обеспечению инспекционного контроля могут быть представлены в виде неравенства:

$$\beta_1(t) + \beta_2(t) + \dots + \beta_n(t) \leq \beta_0(t_0 \leq t \leq t_0 + \tau), \quad (6)$$

где β_0 – наибольшая интенсивность контроля, которую может обеспечить инспекционный контроль на объекте работ с взрывоопасными изделиями.

3. Математическая модель оптимального управления охраной труда. Требования к математической модели строятся на основе критериев оптимального управления охраной труда и заданного уровня рисков (безопасности) на объекте обращения с взрывоопасными изделиями: хранения, подготовки к утилизации или переработке и непосредственно при утилизации или переработке.

Задача оптимального управления заключается в нахождении такой вероятности перехода работника из более низкой рискованной группы в более высокую $P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)$ и величину управления $\beta_i(t)$, при которой функционал (5) будет содержать минимальные воздействия при заданном временном масштабе приращения рисков, описываемого уравнением (2), начальном состоянии объекта (3) и (4), и граничных условиях достаточности контроля процесса (6).

Алгоритм решения задачи оптимального управления охраной труда и обеспечения заданного уровня рисков (безопасности) на объекте обращения с взрывоопасными изделиями может быть найден, используя принцип максимума Понтрягина. Начнем решение задачи с составления функции Гамильтона [6, 8]:

$$H(\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_n(t)) = -\sum_{i=1}^n (\alpha_{i,i+1}^0(t) - \beta_i(t))^2 + \\ + \sum_{h_1=0}^{\infty} \sum_{h_2=0}^{\infty} \dots \sum_{h_n=0}^{\infty} \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \sum_{i=1}^n \alpha_{i,i+1}^0(t) (h_i + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) + \\ + \beta_i(t) (h_n + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) + \delta_i \beta_i (h - 1) P(t; h_1 - 1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) - \\ - (\alpha_{i,i+1}^0(t) h_i h_{i+1} + \beta_i(t) h_i + \delta_i \beta_i h) P(t; h_1, h_2, \dots, h_n), \quad (7)$$

$$\text{где } \frac{d\Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n}}{dt} = -\frac{\sigma H(\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_n(t))}{\sigma P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)}. \quad (8)$$

Далее найдем частные производные функции Гамильтона (8):

$$\frac{\sigma H}{\sigma \beta_{x_i}} = 2(\alpha_{k,k+1}^0 - \beta_k(t)) + \sum_{\substack{h_1=0 \\ h_2=0 \\ \dots \\ h_n=0}}^{\infty} \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \left(\frac{(h_k + 1) \gamma_k^2}{\gamma_k^2 + (h_k + 1)^2} \right) \cdot \\ (P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) - h_i P(t; h_1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) = 0), i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Используя уравнение (9) найдем оптимальное управление:

$$\beta_i^*(t, P, \Psi) = \alpha_{i,i+1}^0(t) - \frac{1}{2} \sum_{h_1=0}^{\infty} \sum_{h_2=0}^{\infty} \dots \sum_{h_n=0}^{\infty} \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \times \\ ((h + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) - h_i P(t; h_1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n)), i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Комбинируя уравнения (10), (2) и (8) получаем замкнутую краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (11) [6,8]. Находим функции $P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)$, $\Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n}$ и формируем систему уравнений, описывающих оптимальное управление безопасностью (11):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP(t; h_1, h_2, \dots, h_n)}{dt} &= - \sum_{i=1}^n (\alpha_{i,i+1}^0(t) h_i h_{i+1} + \beta^*(t, P, \Psi) h_i + \delta_i \beta h) \cdot \\ &\cdot P(t; h_1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) - \alpha_{i,i+1}^0(t) (h_i + 1) (h_{i+1} - 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots) - \\ &- \beta_i^*(t, P, \Psi) (h_i + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) - \delta_i \beta (h - 1) \cdot \\ &\cdot P(t; h_1 - 1, h_2, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n); \\ \frac{d\Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n}}{dt} &= \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \sum_{i=1}^n \alpha_{i,i+1}^0(t) (h_i h_{i+1} - (h_i + 1) (h_{i+1} - 1)) - \\ &- \beta_i^*(t, P, \Psi) + \delta_i \beta; h = h_1 + h_2 + \dots + h_n; h_{1,2,\dots,n} = 0, 1, 2, \dots; \\ P(t_0; h_1, h_2, \dots, h_n) &= \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0, h_2 \neq 0, \dots, h_n \neq 0, \end{cases} \\ P(t_0 + \tau; h_1, h_2, \dots, h_n) &= \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0 - h_p, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0 - h_p, h_2 \neq 0, \dots, h_n \neq 0. \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (11).$$

Для решения уравнения (11) может быть использован метод Ньютона с дроблением шага. В этом случае краевая задача решается через серию задач Коши. В том случае, если найти решение задачи не представляется возможным, вносятся коррективы в граничные условия (4), то есть корректируется конечное состояние объекта, на котором обращаются с взрывоопасными изделиями. Например, можно предположить, что в группах малого риска не были выявлены работники, допустившие нарушения правил безопасности при обращении с взрывоопасными изделиями из-за чего граничное условие (4) может быть скорректировано [18]. Иная проблема поиска решения (11) состоит в том, что (10) нарушает требования граничного условия (6): величина воздействия либо слишком мала, либо наоборот его величина явно велика. Подобные результаты говорят о том, что в первом случае штат инспекционного контроля недостаточен и, необходимо увеличить число контролирующих работников, а во втором – наоборот, контроль избыточен и возможно нужно сократить число inspectирующих сотрудников [9].

Наглядно работу предложенной модели можно проиллюстрировать анализом работы персонала на объекте обращения с взрывоопасными изделиями четырех различных групп риска. На рисунке 3 показан уровень интенсивности контроля β_i ($i = 1, 2, 3, 4$) в четырех группах риска в зависимости от времени проведения процесса при оптимальном управлении системой контроля [19].

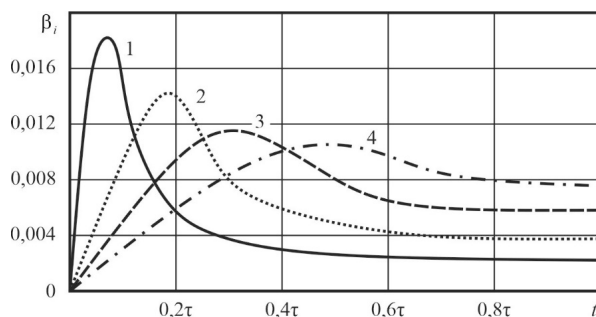


Рисунок 3 – Оптимальное управление системой контроля на объекте работ с взрывоопасными изделиями с четырьмя группами риска обслуживающего персонала: $h_0 = 100$, $\alpha_{12} = 0,015$, $\alpha_{23} = 0,011$, $\alpha_{34} = 0,009$

На рисунке 3 можно наблюдать 2 режима управления:

– нестационарный, который характерен для периода $0 \leq t \leq 0,4\tau$, когда на объекте еще не завершено формирование штата и к работе приступают новые

сотрудники;

– стационарный, в периоде времени $t > 0,4\tau$, когда штат полностью сформирован и изменяется незначительно.

Заключение. Граничные условия, которые устанавливают интенсивность контроля в группах малого риска, четко указывают на особенную роль инспекционного контроля в начальный период работы на объекте обращения с взрывоопасными изделиями [20]. Можно с уверенностью сказать, что в период $0 \leq t \leq 0,4\tau$ на объекте должен быть установлен режим «нулевой толерантности» к любым нарушениям требований охраны труда и техники безопасности при обращении с взрывоопасными изделиями, а персонал, допускающий любые, даже самые незначительные нарушения указанных требований, должен быть отстранен от выполнения должностных обязанностей [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учебник для бакалавров / Г.И. Беляков - 2-е издание переработанное и дополненное. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 572 с.
2. Боброва-Голикова, Л.П. Эргономика и безопасность труда / Л.П. Боброва-Голикова, О.М. Мальцева и др. // – М.: Машиностроение, 1985.
3. Рекомендации по созданию и функционированию системы управления охраной труда и обеспечением безопасности образовательного процесса в образовательных организациях, осуществляющих образовательную деятельность (письмо министерства образования и науки РФ от 25 августа 2015 г. № 12-1077) // Управление качеством образования: теория и практика эффективного администрирования. – 2019. – № 5. – С. 71-78.
4. Авдонина Л.А. Использование современной информационной технологии при подготовке специалистов. // Материалы 34-й Всероссийской НТК. Часть 2./РВВКУС, Рязань, 2009. – С.21-27.
5. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ – Редакция от 22.11.2021 – с последними изменениями.
6. Плющ, А.А. Оптимальное управление безопасностью на потенциально опасном объекте при эвакуации боеприпасов обслуживающим персоналом // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2008. – № 2(58). С. 68-72.
7. 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
8. 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.
9. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А.Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.
10. Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. – М.: Наука,

1971. – 367 с.

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

12. 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.

13. Тихомиров, В.А. Системный подход к интеграции информационных ресурсов в концепцию математического моделирования / В.А. Тихомиров, И.А. Карпов, Е.В. Тихомирова // Программные продукты и системы. – 2008. – № 1. – С. 4–7.

14. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – М.: Издательство ОНТИ, 1936. – 80 с.

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

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

17. Вершинин Н.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. // Сб. тр. Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». – Пенза: Информационно – издательский центр ПТУ, 2003. – С. 412-414.

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. 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.

20. Северцев, Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: учебное пособие / Н.А. Северцев, В.К. Дедков// – М.: Высшая Школа, 2006. – 462 с.

Статья поступила в редакцию 05.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022