

УДК 331.45, 331.5

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНОВОГО КОНТРОЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА*

Т. В. Азарнова, Т. Н. Гоголева, И. Н. Щепина, В. Н. Ярышина

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15 августа 2018 г.

Аннотация: в статье рассматривается актуальная для современного российского регионального рынка труда проблема совершенствования системы планового контроля за выполнением норм охраны труда организациями. На основании изучения обширной литературы по проблемам функционирования систем контроля в процессах управления предложена оптимизационная стохастическая модель системы контроля в сфере охраны труда, имеющая прогнозный характер и учитывающая дифференциацию организаций по уровню управления процессами охраны труда и сложности структуры и производственных процессов. Модель базируется на методах теории массового обслуживания, кластерного анализа и аппроксимации функциональных зависимостей. В работе представлены результаты расчетов, произведенных на основе условного примера, демонстрирующие возможности представленной модели. Разработанная модель предназначена для выработки рекомендаций по формированию программ планового контроля, осуществляемого региональной государственной инспекцией труда (большая система контроля) относительно организаций в области охраны труда.

Ключевые слова: рынок труда, система контроля охраны труда, оптимизационная модель системы государственного планового контроля охраны труда.

Abstract: the article deals with the actual problem of improving the system of planned control over the implementation of labor protection standards by organizations for the modern Russian regional labor market. Based on the study of vast literature on the problems of the functioning of control systems in management processes, proposed stochastic optimization model of the control system in the sphere of labor protection, which has a predictive character and takes into account the differentiation of organizations in terms of management of labor protection processes and the complexity of structure and production processes. The model is based on techniques of queueing theory, cluster analysis and approximation of functional dependencies. The article presents the results of calculations performed on a conditional example that demonstrates the capabilities of the model. The developed model is designed to develop recommendations for the formation of programs of planned control carried out by the regional state labor Inspectorate (a large monitoring system) concerning organizations in the field of labor protection.

Key words: labor market, labor protection control system, optimization model of the system of state planned labor protection control.

Качество охраны труда является одним из важнейших показателей для региональных рынков труда. На нарушения в области охраны труда и законных трудовых прав граждан ежегодно приходит-

ся достаточно высокий процент от общего количества выявляемых органами прокуратуры нарушений социального законодательства. Контроль за соблюдением норм в области охраны труда осуществляется государством. Существующая в России система государственного контроля в области охраны труда включает в себя множество направлений, каждое из которых реализуется на двух уровнях – федеральном и субъекта федерации. Каждое из направлений связано с функциями определенной организации или ведомства органов исполнительной власти: Ростехнадзора, Федеральной инспекции труда

* Исследование проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-06-00535-а «Разработка комплекса оптимизационных математических моделей, методов и алгоритмов для повышения эффективности и качества управления рынком труда и занятостью населения в регионе»).

© Азарнова Т. В., Гоголева Т. Н., Щепина И. Н., Ярышина В. Н., 2018

(ФИТ) при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации, Госсанэпиднадзора, Государственной противопожарной службы, Госстандарта, Госавтоинспекции. Их подразделения существуют во всех субъектах федерации.

Проверки органов надзора и контроля охраны труда в России могут быть плановыми или внеплановыми. В данной статье внимание сосредоточено на плановых проверках, которые осуществляет каждый из перечисленных контрольных органов относительно организаций, не имеющих текущих нарушений, связанных с охраной труда и приведших к запросам, ЧП, жалобам и т. п. Каждый из органов надзора и контроля за охраной труда составляет график проверок, с которым знакомит представителей предприятия. Законодательством установлена периодичность мероприятий контролирующего характера. Например, инспекторы ФИТ посещают организации в плановом порядке один раз в три года [1]. Существующие правила организации планового контроля не учитывают региональные особенности, характеристики предприятий, их прошлый опыт охраны труда, что могло бы внести корректировки в осуществление планового контроля и сделать его более результативным. Такая постановка проблемы показывает, насколько важен вопрос об оптимизации организации планового контроля, решение которого позволит улучшить работу всей системы охраны труда, экономить ресурсы и время как контролирующих органов, так и организаций, где данный контроль осуществляется.

Решение проблемы контроля за охраной труда требует комплексного подхода еще и потому, что его целью должна стать профилактическая, предупреждающая деятельность, на которую следует переориентировать всю систему государственного контроля в области трудового права и охраны труда. Поэтому актуальной становится оптимизация качества охраны труда.

К актуальным направлениям научных исследований в области охраны труда можно отнести: планирование контрольных мероприятий; обоснование методов прогнозирования результатов контроля; определение индикаторов состояния объектов контроля; разработку и обоснование методов получения достоверной информации в процессе контроля; разработку эффективных методов предварительного, направляющего, фильтрующего и последующего контроля; разработку критериев оценки эффективности методов контроля; разработку методов оценки и оптимального распределения ресурсов контроля. Подобные задачи стоят

практически перед всеми большими системами контроля. Одним из эффективных средств решения данных задач являются методы формализации и моделирования процессов контроля [2–4]. Моделирование системы охраны труда предполагает создание теоретического аналога реального процесса, позволяющего учесть основные факторы, воздействующие на систему, и создающего возможность отражения изменений текущих значений параметров, характеризующих структуру системы и качество функционирования. Особенности предлагаемой в работе модели определяются постановкой задачи разработки оптимальной системы контроля в области охраны труда на предприятиях с учетом специфики ее процессов.

Методологической базой научно обоснованного решения вопросов совершенствования организации контроля в области охраны труда является теория контроля в организации управления, позволяющая рассматривать его как систему, имеющую определенную структуру. Исследования, в которых анализируются сложные системы контроля, выделяют ряд характеристик, отражающих их свойства [2; 5; 6]: эффективность; достоверность; точность; «производительность»; длительность работы системы; затраты на осуществление контроля; время, требуемое на приведение системы в работоспособное состояние; объем контроля; универсальность и гибкость программ контроля; количество и характер «зондируемых» и наблюдаемых сигналов; содержание и форма представления результатов контроля и др.

При проектировании работы системы контроля большое внимание уделяется оптимальному распределению во времени информационных потоков, поступающих от объектов контроля. Информация, переданная в систему от некоторого объекта контроля в фиксированный момент времени t , представляет собой совокупность сведений о состоянии данного объекта до момента времени t . Полную информацию об объекте контроля можно получить только в условиях непрерывного контроля. Однако если каждое поступление информации связано с расходом времени на ее передачу и обработку, которое не зависит от содержащихся в ней новых сведений, то это может привести к необходимости существенного увеличения пропускной способности контрольного механизма и к соответствующему удорожанию конечных результатов контроля. Дискретизация процесса контроля приводит к некоторой неопределенности сведений о состоянии каждого контролируемого объекта и системы в

целом. Актуальной становится задача оценки уровня и критичности неопределенности для используемой системы дискретизации процесса контроля и нахождения оптимальной (согласованной с целями и ресурсами контроля) системы дискретизации процесса контроля. Ее целесообразно сформулировать как задачу нахождения таких интервалов времени между последовательными моментами времени контроля различных предприятий, которые бы минимизировали некоторый функционал качества работы системы контроля. На практике встречаются два основных подхода к оптимальному распределению информационных потоков [3; 7–9]. Первый подход основан на предположении, что интервалы времени между последовательными моментами проведения контрольных мероприятий и длительность самой процедуры контроля стандартны. Этот подход получил название детерминированного. В условиях детерминированного подхода актуальной является задача нахождения множества оптимальных интервалов времени $\{t_i\}$, через которые i -й контролируемый объект передает информацию (контролируется системой) на вход системы. В работе Г. П. Башарина [8] показано, что данная задача моделируется в виде задачи нелинейной условной оптимизации с линейной целевой функцией

$$F = \sum_{i=1}^n v_i (c_i^2 - c_i^1) t_i \rightarrow \min, \text{ и нелинейным ограничением } \sum_{i=1}^n T \tau_i / t_i \leq \omega T, \text{ где } T - \text{общее время работы системы контроля, } \omega T - \text{время, выделяемое системой на обработку информации, полученной в процессе контроля } n \text{ объектов, } \tau_i, i = \overline{1, n} - \text{среднее время, затрачиваемое на сбор и анализ информации о состоянии } i\text{-го контролируемого объекта, } v_i - \text{средняя скорость накопления информации на } i\text{-м объекте, } c_i^1 - \text{специальным образом вычисляемая стоимость одной единицы информации о состоянии } i\text{-го контролируемого объекта, } c_i^2 - \text{специальным образом вычисляемая стоимость одной единицы неполноты (неопределенности) информации о состоянии } i\text{-го контролируемого объекта. Второй стохастический подход, учитывающий случайный характер процессов контроля и функционирования объектов контроля, основан на моделировании системы контроля в виде одноканальной системы массового обслуживания, в которую поступает по выделенным каналам информация (входные потоки) от каждого контролируемого объекта. Потоки информации, поступающие от разных объектов контроля, могут иметь одинаковую важность (система без приоритетов) и различную важность$$

(система с приоритетами). Система без приоритетов рассматривается как система, имеющая один канал приема входной информации, в котором сливаются n потоков информации от n контролируемых объектов. Как правило, предполагается, что время обслуживания информации от каждого объекта (требования) не зависит от длины, состава очереди и от поступающего потока. Любая система контроля, кроме обработки требований (информации от каждого объекта контроля) в периоды времени, когда на входе отсутствуют требования суммарного потока, реализует ряд важных дополнительных функций. Если не регулировать, не ограничивать объем информации во входном потоке, то может оказаться, что время, оставшееся на выполнение дополнительных функций, недостаточно. Поэтому, несмотря на первостепенную роль задач обработки информации входного потока, общее время, отводимое в системе контроля для этих целей должно быть ограничено. Ограничение может моделироваться с помощью соответствующих параметров входных потоков информации. Математическая модель оптимизации параметров входных потоков может быть сформулирована в виде задачи нелинейной оптимизации [10]:

$$F = \sum_{i=1}^n \left((c_i^3 + c_i^2) - c_i^1 \right) v_i (\lambda_i^{-1} + w_i) + P \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i c_i^3}{\Lambda} \rightarrow \min$$

$$1 - P_0 \leq \omega,$$

где c_i^3 – стоимость потери блока информации (требования), поступившего от i -го объекта контроля, w_i – среднее время ожидания в очереди информации от i -го контролируемого объекта, P – вероятность потери требования, P_0 – вероятность того, что под обслуживанием и в очереди нет блоков информации, поступающей от контролируемых объектов (система свободна от обслуживания требований). Задача оптимального регулирования информационных потоков при известном наборе длительностей обслуживания для объектов контроля $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$ заключается в поиске такого набора интенсивностей входящих потоков информации от объектов контроля $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, который минимизировал бы целевую функцию математической модели.

В исследованиях В. Н. Буркова, Д. А. Новикова [4; 11] предложены ресурсосберегающие технологии контроля, базирующиеся на иерархических механизмах комплексного оценивания. Данные механизмы позволяют свернуть иерархическое критериальное представление об объекте контроля

в единый интегральный показатель, на основании анализа которого можно сформировать вывод о качестве процессов функционирования и разработать дальнейшую контрольную политику.

В работе И. Б. Руссмана, А. И. Иванченко [9] анализируется проблема нахождения оптимального с точки зрения трудности достижения целей набора точек контроля (расположение точек во времени). Через трудность достижения цели формализуются затраты на сохранение управляемости объекта. Построение набора точек контроля осуществляется с помощью некоторой рекуррентной процедуры, на каждом этапе которой находится следующая точка, которая является оптимальной при текущих параметрах функционирования системы.

Опираясь на проанализированные выше теоретические исследования в области моделирования процессов контроля, в данной работе предложена стохастическая модель процесса контроля, осуществляемого региональной государственной инспекцией труда (большая система контроля), которая предназначена для разработки рекомендаций по планированию мероприятий контроля предприятий сферы занятости в области охраны труда. В основе построения модели лежат методы классификации, теории массового обслуживания и аппроксимации функциональных зависимостей [12–17]. Данная модель позволяет оценить эффективность наборов интенсивностей (интервалов времени между последовательным контролем) плановых контрольных мероприятий организаций в области охраны труда для групп предприятий с определенной сложностью организационной структуры и с определенным уровнем управления процессами охраны труда.

Модель предполагает специальное разбиение предприятий на классы (два типа кластеризации). Осуществляется кластеризация предприятий $\Omega_i, i = 1, n$ по уровню управления процессами охраны труда. Для кластеризации используется информация, характеризующая состояние предприятия в области охраны труда, которая может быть получена на основании анализа: публикаций в профессиональных журналах; материалов семинаров и конференций; результатов мониторинга за деятельностью объекта; опросов внешних экспертов; материалов ранее проводимых проверок; данных профсоюзных комитетов и отчетов, предоставляемых самой организацией. Эта информация может быть представлена, например, в виде показателей, оценивающих имидж организации с точки зрения охраны труда, уровень соответствия рабочих мест требованиям безопасности, своевременность

и правильность предоставления льгот и компенсаций, степень разработанности нормативных актов по охране труда, уровень обеспечения санитарно-гигиенических условий труда и медицинского обеспечения работников, состояние противопожарной безопасности, количество дорожно-транспортных происшествий, совершенных по вине работников организации, количество выявленных при предыдущих проверках нарушений требований охраны труда, своевременность и полнота выполнения предписаний и указаний контролирующих органов по вопросам охраны труда и т. п.

В качестве метода кластерного анализа в работе используется метод « k -средних» с неопределенным количеством классов k . На нулевой итерации рассматривается три класса, за эталонные множества которых выбираются организации, которые, по мнению экспертов, относятся к предприятиям соответственно с низкой, средней и высокой вероятностью возникновения нарушений по охране труда. Среди современных методов интеллектуального анализа данных и машинного обучения, для решения задачи кластеризации можно рекомендовать также метод самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена.

Второй тип кластеризации предприятий на группы $T_j, j = 1, p$ по сложности структуры и производственных процессов осуществляется экспертами, при этом учитываются такие параметры, как вид деятельности, тип организационной структуры (линейная, функциональная, линейно-функциональная, матричная), масштаб деятельности, сложность производственных процессов и т. д.

В соответствии с информацией, используемой при кластеризации, по принадлежности объекта к соответствующему классу Ω_i можно судить о вероятности возникновения нарушений и о необходимости внесения изменений в сформированную политику в области охраны труда. Аналогично принадлежность объекта к определенному классу T_j интерпретируется в терминах временных и ресурсных затрат на проведение контрольного мероприятия в данной организации.

При построении модели, предложенной в рамках исследования, предполагается, что есть некоторое фиксированное множество N объектов контроля, разбитых на группы $\Omega_i, i = 1, n$ по уровню управления процессами охраны труда и на группы $T_j, j = 1, p$ по сложности организационной структуры и производственных процессов. Через $N_{ij}, i = 1, n; j = 1, p$ обозначим количество объектов контроля, соответствующих сочетанию классов (Ω_i, T_j) . Для каждого сочетания классов (Ω_i, T_j)

требуется определить интенсивность проведения контрольных мероприятий во времени или среднее время между последовательными контрольными мероприятиями. Считается, что контрольные мероприятия проводятся в случайные моменты времени и поток проверок является простейшим с параметром (интенсивностью) λ_{ij} . Подлежащая определению интенсивность λ_{ij} характеризует среднее количество проверок в единицу времени (например, в год или в три года).

Для простейшего потока требований: вероятность наступления k событий (проверок) за время t вычисляется по формуле [17]

$$P_k(t) = \frac{(\lambda_{ij}t)^k}{k!} e^{-\lambda_{ij}t},$$

длина интервала времени ζ_{ij} между последовательными проверками распределена по показательному закону

$$F_{\zeta_{ij}}(t) = P(\zeta_{ij} < t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_{ij}t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$$

с параметром λ_{ij} .

В разрабатываемой модели делается также предположение о распределении длительности проведения проверок. Считается, что для объектов из класса T_j длительность проверки есть распределенная по показательному закону случайная величина ζ_j :

$$F_{\zeta_j}(t) = P(\zeta_j < t) = \begin{cases} 1 - e^{-\mu_j t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$$

параметр μ_j характеризует интенсивность обслуживания предприятий из класса T_j ($\overline{T}_{npj} = \frac{1}{\mu_j}$ – среднее время проверки одного предприятия). Параметр μ_j может быть определен на основании обработки статистических данных о проведении предыдущих проверок предприятий класса T_j или на основании формализованных экспертных процедур.

В рамках предположений о случайном характере функционирования рассматриваемой системы контроля ее удобно моделировать как систему массового обслуживания. Каждое состояние системы будем представлять в виде упорядоченного набора пар индексов $((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))$, где k – количество предприятий в системе в данный момент времени. Предприятия в системе характеризуются парой индексов (i, j) , i – номер группы Ω_i по уровню управления процессами охраны труда, j – номер группы T_j по сложности структуры и производственных процессов. Пара (i_1, j_1) , стоящая на первом месте в наборе $((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))$, характеризует предприятие, на котором в данный момент времени осуществляется проверка, все остальные пары $(i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k)$

– предприятия, стоящие в соответствующем порядке в очереди на проведение проверки.

Обозначим через $P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t)$ вероятность того, что через время t после начала своего функционирования рассматриваемая система контроля будет находиться в состоянии $((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))$. Специальное обозначение $P_{(0)}$ используется для вероятности события, заключающегося в том, что система пустая, в системе нет ни на проверке, ни в очереди ни одного предприятия. Считается, что в момент времени $t = 0$:

$$P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(0) = 0, \quad \forall k = \overline{1, p},$$

$$\forall ((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k)), P_0(0) = 1.$$

Вычисление вероятностей $P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t)$ позволит оценить различные характеристики эффективности функционирования системы контроля: абсолютную пропускную способность, относительную пропускную способность, среднюю длину очереди, среднее время пребывания в очереди, долю времени, когда система свободна и т. д. Вероятности $P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t)$ можно найти из решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова [13], которая является математической моделью функционирования рассматриваемой системы. Для получения системы дифференциальных уравнений Колмогорова рассмотрим промежуток времени длины $t + \Delta t$. Исходя из описанных выше свойств случайных процессов, для данного промежутка времени справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} & P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t + \Delta t) = \\ & = P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t) (1 - \mu_{j_1} \Delta t + o(\Delta t)) \times \\ & \times \prod_{(i, j)} \left(1 - \left(N_{ij} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (ij)} 1 \right) \lambda_{ij} \Delta t + o(\Delta t) \right) + \\ & + P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_{k-1}, j_{k-1}))}(t) (1 - \mu_{j_1} \Delta t + o(\Delta t)) \times \\ & \times \left(\left(N_{i_k, j_k} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (i_k, j_k)} 1 \right) \lambda_{i_k, j_k} \Delta t + o(\Delta t) \right) \times \\ & \times \prod_{(i, j) \neq (i_k, j_k)} \left(1 - \left(N_{ij} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (ij)} 1 \right) \lambda_{ij} \Delta t + o(\Delta t) \right) + \\ & + \sum_{(i_0, j_0)} \left(N_{i_0, j_0} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (i_0, j_0)} 1 \right) P_{((i_0, j_0), (i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t) \times \\ & \times (\mu_{j_0} \Delta t + o(\Delta t)) \times \\ & \times \prod_{(i, j)} \left(1 - \left(N_{ij} - \sum_{m=0}^k \sum_{(i_m, j_m) = (ij)} 1 \right) \lambda_{ij} \Delta t + o(\Delta t) \right) + o(\Delta t); \end{aligned}$$

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) \cdot \prod_{(i,j)} (1 - N_{ij} \lambda_{ij} \Delta t + o(\Delta t)) +$$

$$+ \sum_{(i_0, j_0)} P_{((i_0, j_0))}(t) (\mu_{j_0} \Delta t + o(\Delta t)) \cdot (1 - (N_{i_0 j_0} - 1) \lambda_{i_0 j_0} \Delta t +$$

$$+ o(\Delta t)) \prod_{(i,j) \neq (i_0, j_0)} (1 - N_{ij} \lambda_{ij} \Delta t + o(\Delta t)) + o(\Delta t).$$

Если перенести $P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t)$ в левую часть, поделить обе части уравнения на Δt и перейти к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, то получим систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\frac{dP_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t)}{dt} =$$

$$= - \left(\mu_{j_1} + \sum_{(i,j)} \left(N_{ij} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (ij)} 1 \right) \lambda_{ij} \right) P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t) +$$

$$+ \left(\left(N_{i_k j_k} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (i_k, j_k)} 1 \right) \lambda_{i_k j_k} \right) \cdot P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_{k-1}, j_{k-1}))}(t) +$$

$$+ \sum_{(i_0, j_0)} \mu_{j_0} \left(N_{i_0 j_0} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (i_0, j_0)} 1 \right) P_{((i_0, j_0), (i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}(t);$$

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = - \sum_{(i,j)} N_{ij} \lambda_{ij} \cdot P_0(t) + \sum_{(i_0, j_0)} \mu_{j_0} P_{((i_0, j_0))}(t). \quad (2)$$

Для данной системы с конечным числом состояний существует стационарный режим работы, для которого система дифференциальных уравнений (1), (2) путем предельного перехода преобразуется в систему:

$$0 = - \left(\mu_{j_1} + \sum_{(i,j)} \left(N_{ij} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (ij)} 1 \right) \lambda_{ij} \right) P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))} +$$

$$+ \left(\left(N_{i_k j_k} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (i_k, j_k)} 1 \right) \lambda_{i_k j_k} \right) \cdot P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_{k-1}, j_{k-1}))} +$$

$$+ \sum_{(i_0, j_0)} \mu_{j_0} \left(N_{i_0 j_0} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m, j_m) = (i_0, j_0)} 1 \right) P_{((i_0, j_0), (i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}; \quad (3)$$

$$0 = - \sum_{(i,j)} N_{ij} \lambda_{ij} \cdot P_0 + \sum_{(i_0, j_0)} \mu_{j_0} P_{((i_0, j_0))}. \quad (4)$$

$$\sum_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))} P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))} = 1. \quad (5)$$

Если параметры λ_{ij} известны, то система (3), (4), (5) классифицируется как система линейных уравнений относительно вероятностей $P_{((i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k))}$.

Эксперты в области охраны труда могут рекомендовать наборы определенных значений параметров λ_{ij} , актуальной является задача верификации предложений экспертов и выбора значений λ_{ij} , от-

вечающих критериям эффективности работы системы контроля. Можно рассматривать скалярные и векторные критерии эффективности. В качестве примера скалярного критерия можно привести:

$$F(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}) =$$

$$= \phi(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}) + \phi(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}) \rightarrow \min,$$

где значение функции $\phi(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np})$ равно суммарной по всем контролируемым объектам сложности осуществления проверок, а значение функции $\phi(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np})$ равно суммарной по всем контролируемым объектам степени необходимости корректировки политики в области охраны труда, при условии, что средние длительности интервалов времени между последовательными контрольными мероприятиями в рассматриваемых группах предприятий соответственно равны $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}$. Длительности интервалов времени между последовательными контрольными мероприятиями $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}$ выражаются через от $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \dots, \lambda_{np}$ и среднее время пребывания в очереди.

В рамках исследования предполагается, что $\phi(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}) = \sum_{(i,j)} \phi_{ij}(x_{ij})$, где величины $\phi_{ij}(x_{ij})$ оценивают сложность проведения проверок для объектов, которые по уровню управления процессами охраны труда принадлежат классу Ω_i , а по сложности структуры – классу T_j . Функции $\phi_{ij}(x_{ij})$ строятся методом « α -срезов» с аппроксимацией полученной функции методом наименьших квадратов. Для расчетов методом « α -срезов» область значений x_{ij} дискретизируется, в результате чего формируется дискретное множество U .

Алгоритм метода « α -срезов».

Для каждого $x_i \in U$ вводится величина m_i , которая вначале вычислений равна 0, а в затем в процессе вычислений становится равной суммарной частоте появления $x_i \in U$ в специальных уровневых множествах, формируемых с помощью следующей процедуры.

1. Отрезок $[0, 1]$ разбивается на M одинаковых частей ($M \leq 25$), $0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_M = 1$.
2. Случайным образом без повторов выбирается значение $\alpha_i \in \{\alpha_k\}_{k=1, \dots, M}$.
3. С помощью экспертного опроса формируется уровневое множество $A_{\alpha_i} = \{x \in U / \mu_A(x) \geq \alpha_i\}$.
4. Шаги 2–3 повторяются до тех пор, пока не будет исчерпано множество $\alpha_i \in \{\alpha_k\}_{k=1, \dots, M}$.
5. Для каждого $x_i \in U$ вычисляется оценка W_i

вероятности $P(x_i)$ по формуле $W_i = \frac{m_i}{M}$. Множество $x_i \in U$ упорядочивается по возрастанию величин W_i $U = \{x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n}\}$, и вычисляются значения промежуточной функции по формуле

$$\phi'(x_{i_k}) = (n - k + 1)W_{i_k} + \sum_{j=1}^{k-1} W_{i_j}.$$

Функции φ_{ij} строятся путем аппроксимации функций ϕ' с помощью специальных функций $\phi_{ij}(x_{ij}) = \frac{ax_{ij}}{1+ax_{ij}}$, сохраняющих необходимые свойства функции ϕ' и позволяющих учитывать условие $0 \leq \phi_{ij}(x_{ij}) \leq 1$. Аналогично в работе предполагается, что $\phi(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{np}) = \sum_{(i,j)} \varphi_{ij}(x_{ij})$, где значения $\varphi_{ij}(x_{ij})$ показывают ожидаемую экспертами степень необходимости корректировки политики в области охраны труда для организаций, которые по уровню управления процессами охраны труда принадлежат классу Ω_i , а по сложности структуры классу T_j . Аппарат построения отдельных функций $\varphi_{ij}(x_{ij})$ аналогичен аппарату построения функций $\phi_{ij}(x_{ij})$.

Средняя длительность интервала времени между последовательными контрольными мероприятиями x_{ij} вычисляется по формуле $x_{ij} = \frac{1}{\lambda_{ij}} + \overline{T_{oc}}$, где величина $\frac{1}{\lambda_{ij}}$ характеризует среднее время между назначениями проверок, а величина $\overline{T_{oc}}$ среднее время пребывания в очереди. Среднее время пребывания в очереди $\overline{T_{oc}}$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \overline{T_{oc}} = & 0 \cdot P_0 + \sum_{(i,j_1)} \left(\frac{1}{\mu_{j_1}} \right) P_{((i,j_1))} + \\ & + \sum_{\substack{(i,j_1)(j_2) \\ \sum_{(i_k,j_k)=(i_m,j_m)} \\ 1 \leq N_{imjm}, \forall m=1,2}} \left(\frac{1}{\mu_{j_1}} + \frac{1}{\mu_{j_2}} \right) P_{((i,j_1)(j_2))} + \dots + \\ & + \sum_{\substack{(i,j_1)(j_2)\dots(j_{N-1},N-1) \\ \sum_{(i_k,j_k)=(i_m,j_m)} \\ 1 \leq N_{imjm}, \forall m=1,N-1}} \left(\frac{1}{\mu_{j_1}} + \frac{1}{\mu_{j_2}} + \dots + \frac{1}{\mu_{j_{N-1}}} \right) \times \\ & \times P_{((i,j_1)(j_2)\dots(j_{N-1},j_{N-1}))}. \end{aligned}$$

С учетом описанных выше характеристик модель определения (или верификации) интенсивности контрольных мероприятий принимает вид

$$\begin{aligned} \sum_{(i,j)} \phi_{ij} \left(\frac{1}{\lambda_{ij}} + \overline{T_{oc}} \right) + \sum_{(i,j)} \varphi_{ij} \left(\frac{1}{\lambda_{ij}} + \overline{T_{oc}} \right) \rightarrow \min \\ 0 = - \left(\mu_{j_1} + \sum_{(i,j)} \left(N_{ij} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m,j_m)=(ij)} 1 \right) \lambda_{ij} \right) P_{((i,j_1)(j_2)\dots(i_k,j_k))} + \\ + \left(\left(N_{i_k j_k} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m,j_m)=(i_k,j_k)} 1 \right) \lambda_{i_k j_k} \right) \cdot P_{((i,j_1)(j_2)\dots(i_{k-1},j_{k-1}))} + \end{aligned}$$

$$+ \sum_{(i_0,j_0)} \mu_{j_0} \left(N_{i_0 j_0} - \sum_{m=1}^k \sum_{(i_m,j_m)=(i_0,j_0)} 1 \right) P_{((i_0,j_0)(i_1,j_1)(i_2,j_2)\dots(i_k,j_k))};$$

$$\begin{aligned} 0 = - \sum_{(i,j)} N_{ij} \lambda_{ij} \cdot P_0 + \sum_{(i_0,j_0)} \mu_{j_0} P_{((i_0,j_0))} \\ \sum_{((i_1,j_1)(i_2,j_2)\dots(i_k,j_k))} P_{((i_1,j_1)(i_2,j_2)\dots(i_k,j_k))} = 1 \end{aligned}$$

$$1 - P_0 \leq \omega$$

Ограничение $1 - P_0 \leq \omega$ означает, что доля времени функционирования системы контроля, отводимая на плановые контрольные мероприятия, не должна превышать порогового значения ω . Остаточное время $1 - \omega$ отводится на проведение внеплановых проверок по фактам нарушения, составление различных отчетов, анализ результатов и выполнение других функций. В приведенной выше модели рассмотрен простейший вариант работы системы контроля, в случае усложнения правил работы, например, связанных с приоритетным обслуживанием, модель тоже усложняется. Вариант модели с приоритетным обслуживанием приведен в работе Т. В. Азарновой, В. В. Ухловой [18].

Ниже представлены фрагменты вычислений по предложенной оптимизационной модели на тестовом условном примере. При решении оптимизационной задачи использовался метод штрафных функций (рис. 1–3).

Таким образом, для повышения качества функционирования рынка труда с точки зрения выполнения норм и условий охраны труда, что для российских условий является чрезвычайно актуальной задачей, необходимо оптимизировать систему планового контроля в области охраны труда с акцентом на ее прогнозный и дифференцированный характер. Для совершенствования организации данного вида контроля предложена стохастическая модель системы контроля, которую можно использовать для оценки и анализа вариантов интенсивности контроля для групп предприятий с определенной сложностью структуры и определенной политикой в области охраны труда. В полученной модели вид целевой функции зависит от результатов экспертных данных, ограничения представляют собой систему нелинейных уравнений и неравенств. На практике рекомендуется использовать предложенную модель для оценки эффективности предлагаемых экспертами вариантов интенсивностей проверок для различных классов предприятий. При известных значениях интенсивностей ограничения модели представляют собой систему линейных равенств и неравенств.

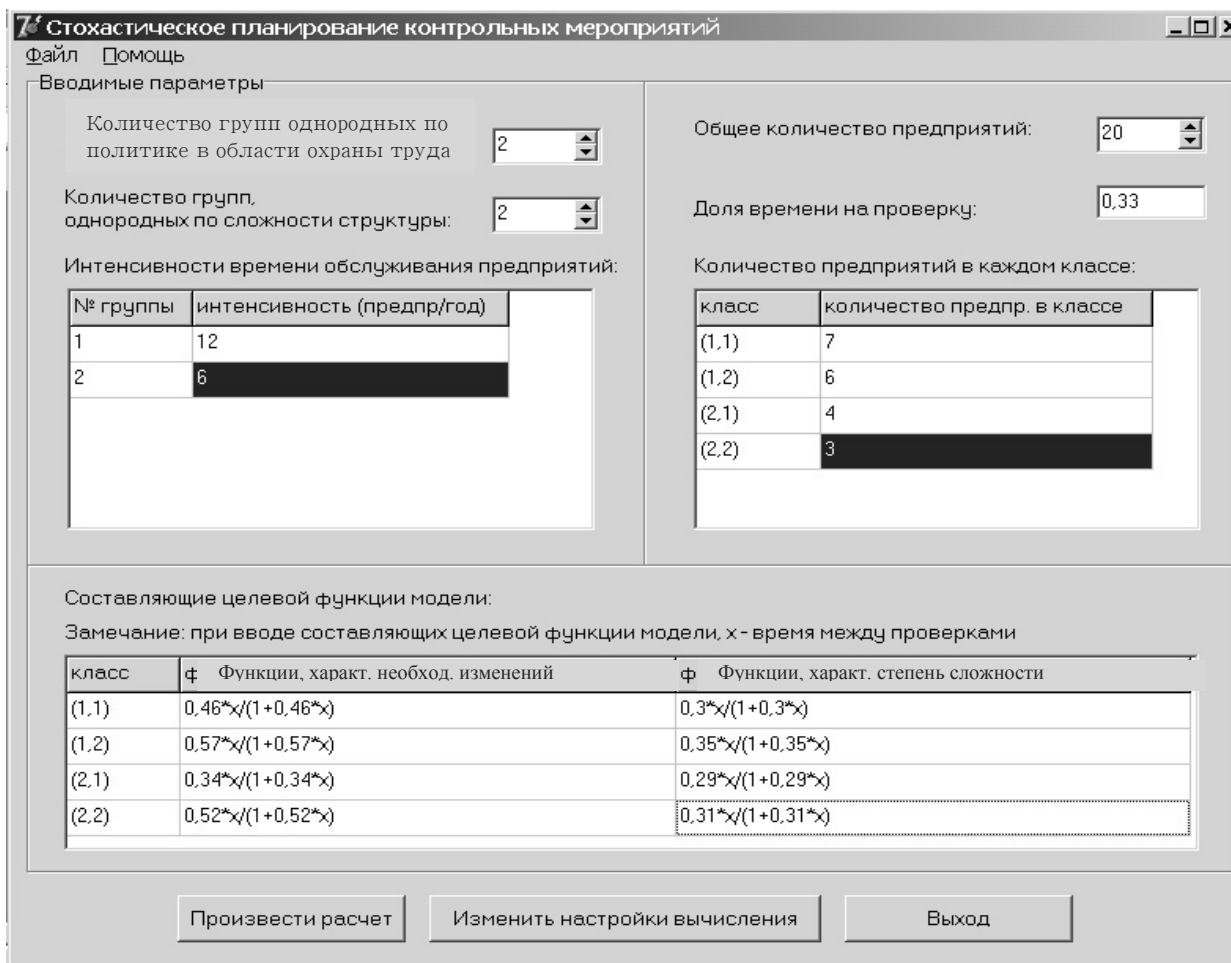


Рис. 1. Параметры классов предприятий

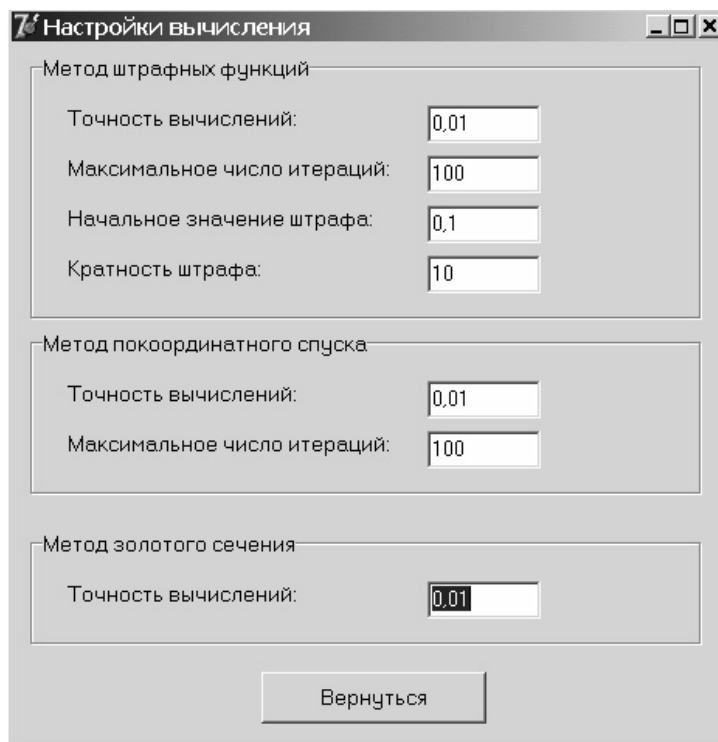


Рис. 2. Параметры метода штрафных функций

Интенсивности проведения проверок:		Среднее время между проверками:	
класс	интенсивность (предпр/год)	класс	время между проверками (лет)
(1.1)	0,974141114191152	(1.1)	1,0265453181599
(1.2)	1,9312644935702	(1.2)	0,517795466819445
(2.1)	1,85654437883059	(2.1)	0,538635117696397
(2.2)	2,58160430140096	(2.2)	0,387356032625654

Рис. 3. Результаты вычислений по модели

ЛИТЕРАТУРА

1. Трудовой кодекс Российской Федерации : федер. закон от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 19.07.2018), ст. 216.1. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ca9769a654c65dec304265df0473c4467580bacc/

2. Бабунашвили М. К. Контроль и управление в организационных системах / М. К. Бабунашвили, М. А. Бермант, И. Б. Руссман // Экономика и математические методы. – 1969. – Т. 5. – № 2. – С. 212–227.

3. Михалев Д. Г. Оптимальное формирование информационных потоков в системах контроля и управления / Д. Г. Михалев, И. Б. Руссман // Проблемы передачи информации. – 1972. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 89–93.

4. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М. : МПСИ, 2005.

5. Барский А. Б. Нейронные сети : распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – М. : Финансы и статистика, 2004.

6. Кочергин Е. А. Контроль как функция управления / Е. А. Кочергин. – М. : Знание, 1982.

7. Артемьев В. В. Некоторые задачи совместного выбора параметров оптимальной периодичности контроля / В. В. Артемьев, Г. Д. Ерошин, В. Н. Писарев. – Новосибирск : Наука, 1980.

8. Башарин Г. П. Один прибор с конечной очередью и заявками нескольких видов / Г. П. Башарин // Теория вероятностей и ее применения, 1965. – Т. 2. – № 10. – С. 282–296.

9. Иванченко А. И. Оценка качества контроля в задачах управления организационными системами / А. И. Иванченко, И. Б. Руссман // Стандарты и качество. – 2003. – № 9. – С. 88–90.

10. Контроль функционирования больших систем. – М. : Машиностроение, 1977.

11. Бурков В. Н. Как управлять проектами / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – М. : Синтег, 2004.

12. Болч Б. Многомерные статистические методы / Б. Болч, Дж. К. Хуань. – М. : Статистика, 1979.

13. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М. : Наука, 1966.

14. Каримов Р. Н. Дискриминантный анализ / Р. Н. Каримов. – Саратов : СГУ, 2001.

15. Лабскер Л. Г. Теория массового обслуживания в экономической сфере / Л. Г. Лабскер, Л. О. Бабешко. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998.

16. Саульев В. К. Математические модели теории массового обслуживания / В. К. Саульев. – М. : Статистика, 1979.

17. Чернов В. П. Теория массового обслуживания / В. П. Чернов, В. Б. Ивановский. – М. : ИНФРА-М, 2000.

18. Азарнова Т. В. Разработка и программная реализация стохастической модели расчета времени задержки в телекоммуникационной сети / Т. В. Азарнова, В. В. Ухлоva // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та, 2009. – Т. 5. – № 12. – С. 97–102.

Воронежский государственный университет
Азарнова Т. В., доктор технических наук, заведующая кафедрой математических методов исследования операций

E-mail: ivdas92@mail.ru
Тел.: 220-82-82

Voronezh State University
Azarnova T. V., Doctor of Technical Sciences, Head of the Mathematical Methods of Operations Research Department

E-mail: ivdas92@mail.ru
Tel.: 220-82-82

*Гоголева Т. Н., доктор экономических наук,
заведующая кафедрой экономической теории и
мировой экономики*

E-mail: tgogoleva2003@mail.ru

Тел.: 234-11-59

*Gogoleva T. N., Doctor of Economic Sciences,
Head of the Economic Theory and World and
Economics Department*

E-mail: tgogoleva2003@mail.ru

Tel.: 234-11-59

*Щепина И. Н., доктор экономических наук,
доцент кафедры информационных технологий и
математических методов в экономике*

E-mail: shchepina@mail.ru

Тел.: 228-11-60 (доб. 5116)

*Shchepina I. N., Doctor of Economic Sciences,
Associate Professor of Informational Technology and
Mathematical Methods in Economy Department*

E-mail: shchepina@mail.ru

Tel.: 228-11-60 (ad. 5116)

*Ярышина В. Н., кандидат экономических наук,
преподаватель кафедры экономики труда и основ
управления*

E-mail: yaryshina@econ.vsu.ru

Тел.: 228-11-60 (доб. 5151)

*Yaryshina V. N., Candidate of Economic Sciences,
Lecturer of the Labor Economy and Management
Department*

E-mail: yaryshina@econ.vsu.ru

Tel.: 228-11-60 (ad. 5151)