

КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЕДОМСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПОВЕРОЧНЫХ ОРГАНОВ

А. С. Ефремов¹, Л. В. Лукичев²

^{1,2} Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

^{1,2} vka@mil.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность темы обусловлена важностью обеспечения эффективности выполнения поверочно-аттестационных работ и в связи с этим необходимостью оптимизации как структуры поверочных подразделений, так и планирования поверочных работ. Целью работы является разработка комплекса моделей построения и функционирования ведомственной системы поверочных органов, в котором учитываются основные структурные и функциональные параметры системы поверочных органов. *Материалы и методы.* Рассмотрен комплекс моделей построения и функционирования ведомственной системы поверочных органов, который состоит из ряда моделей: модель распределения работ позволяет описать распределение поверочных работ в установленном стационарном режиме функционирования обслуживаемых объектов и поверочных органов; модель сетевого планирования позволяет описать распределение работ во времени и продолжительность выполнения работ по обслуживанию заявок; транспортная модель позволяет описать планирование способов и маршрутов доставки партий СИ в поверочные подразделения, либо маршрутов движения подвижных поверочных лабораторий; модель функционирования системы позволяет описать процессы выполнения поверочных работ в территориально распределенной ведомственной системе поверочных органов при различных вариантах построения системы, распределения и организации работ; модель расходов и доходов позволяет описать процессы расходования ресурсов при различных вариантах построения поверочных органов и организации работ. *Результаты и выводы.* Использование комплекса моделей позволит с единых позиций выполнить формализованное описание состава и функционирования территориально распределенной ведомственной системы поверочных органов, определить множество основных параметров системы и показателей качества, а также отношения между этими множествами. Рассмотренный комплекс моделей можно использовать при формировании и оценивании вариантов построения поверочных подразделений и организации поверочных работ.

Ключевые слова: комплекс моделей, средства измерений, поверочные органы, планирование проекта, оптимизация маршрута, параметры, показатели

Для цитирования: Ефремов А. С., Лукичев Л. В. Комплекс моделей построения и функционирования ведомственной системы поверочных органов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2024. № 4. С. 129–138. doi: 10.21685/2307-5538-2024-4-15

A SET OF MODELS FOR THE CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF THE DEPARTMENTAL SYSTEM OF VERIFICATION BODIES

A.S. Efremov¹, L.V. Lukichev²

^{1,2} Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

^{1,2} vka@mil.ru

Abstract. *Background.* The relevance of the topic is determined by the importance of ensuring the efficiency of verification and certification work and, in this regard, the need to optimize both the structure of verification departments and the planning of verification work. The purpose of the work is to develop a set of models for the construction and functioning of a departmental system of verification bodies, which takes into account the main structural and functional parameters of the system of verification bodies. *Materials and methods.* The article considers a set of models for the construction and operation of a departmental system of verification bodies, which consists of a number of models: the work distribution model allows one to describe the distribution of verification works in the established stationary mode of operation of the serviced objects and verification bodies; the network planning model allows one to describe the distribution of works in time, and the duration of work on servicing applications; the transport model allows one to describe the planning of methods and routes for delivering batches of measuring instruments to verification

departments, or the routes of movement of mobile verification laboratories; the system functioning model allows one to describe the processes of performing verification works in a territorially distributed departmental system of verification bodies with various options for constructing the system, distributing and organizing works; the model of expenses and incomes allows one to describe the processes of resource expenditure with various options for constructing verification bodies and organizing works. *Results and conclusions.* The use of a set of models will allow one to perform a formalized description of the composition and operation of a territorially distributed departmental system of verification bodies, to determine a set of basic system parameters and quality indicators, as well as the relationships between these sets. The considered set of models can be used in the formation and evaluation of options for constructing verification departments and organizing verification works.

Keywords: model complex, measuring instruments, verification bodies, project planning, route optimization, parameters, indicators

For citation: Efremov A.S., Lukichev L.V. A set of models for the construction and functioning of the departmental system of verification bodies. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control*. 2024;(4):129–138. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2024-4-15

Введение

Ведомственные метрологические службы создаются для решения задач по обеспечению единства и точности измерений при разработке, производстве, испытаниях и эксплуатации техники, продукции и иной деятельности. К числу задач, решаемых ведомственными метрологическими службами, относится метрологическое обслуживание средств измерений (СИ), под которым понимается комплекс мероприятий, проводимых с целью поддержания метрологических характеристик СИ в установленных пределах. Метрологическое обслуживание СИ осуществляется преимущественно силами ведомственных поверочных органов (центров метрологии, лабораторий измерительной техники, калибровочных лабораторий и пр.).

Для многих крупных ведомств характерной является территориально распределенная структура, в составе которой эксплуатируется большое число разнотипных средств измерений. С учетом этого ведомственная система метрологического обеспечения соответственно строится как территориально распределенная сеть метрологических подразделений с различными областями аккредитации и видами обслуживаемых СИ, различным оснащением, различными производственными возможностями и пр.

Анализ показывает, что подобная система представляет собой многопараметрический объект, характеризуемый множеством параметров организации системы и процессов ее функционирования. Задачи формализованного описания таких объектов, оценивания и выбора вариантов построения и функционирования характеризуются высокой размерностью, взаимозависимостью частных показателей, невозможностью нахождения в общем виде строго оптимальных решений. Выполнить всестороннее и адекватное описание такого объекта с учетом всех изменяемых параметров в рамках одной какой-либо модели не представляется возможным. Для решения таких задач представляется целесообразным использовать многомодельный подход с объединением частных моделей в единый комплекс.

Формализованная постановка задачи

Начальным этапом формализованного описания является декомпозиция рассматриваемой системы и определение состава базовых множеств и отношений между ними, описывающих формализуемые объекты и процессы [1].

Под исследуемой системой будем понимать ведомственную территориально распределенную систему поверочных органов. К объектам, оказывающим непосредственное влияние на исследуемую систему и выступающим по отношению к ней как внешняя среда, следует отнести вышестоящую по уровню иерархии систему, формирующую цели для исследуемой системы, а также существующую инфраструктуру и факторы внешней среды, в условиях которых функционирует система.

В качестве вышестоящей системы выступает совокупность N территориально распределенных объектов обслуживания, которую в обобщенном виде можно описать N -мерным вектором $O_N = (O_1, \dots, O_n, \dots, O_N)$. Каждая компонента O_n описывает параметры и характеристики подлежащих метрологическому обслуживанию средств измерений на n -м объекте и может быть представлена в виде кортежа

$$O_n = B_n, H_n, \Lambda_H, \tau_H, n = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где B_n – множество параметров, характеризующих территориальное расположение объекта (например, в виде географических координат); H_n – множество, характеризующее число типов и количество СИ каждого типа на данном объекте; Λ_H – множество, характеризующее интенсивности заявок на поверку СИ каждого типа, определяемые через средние длительности межповерочных интервалов; τ_H – множество, характеризующее нормы времени на поверку СИ каждого типа.

К существующей инфраструктуре можно отнести имеющиеся средства и возможности для доставки СИ в поверочные органы, которые могут быть описаны вектором $Q_i = (Q_{i1}, \dots, Q_{iI}, \dots, Q_i)$. Каждая компонента Q_i описывает для i -го вида транспорта доступные направления для доставки СИ в поверочные органы и может быть представлена в виде

$$Q_i = L_i, V_i, C_i, i = \overline{1, I}, \quad (2)$$

где $L = l_{nm}$, $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$ – матрица расстояний l_{nm} от n -х объектов до m -х поверочных органов для заданного вида транспорта; V – средние скорости движения транспортных средств каждого вида с учетом доступной сети дорог; C – удельные (на единицу расстояния) стоимости доставки транспортным средством каждого типа.

Внешняя среда может быть охарактеризована набором J факторов различного происхождения. К ним могут быть отнесены как естественные (температура, влажность, давление, пыль, осадки и пр.), так и искусственные (электромагнитные, вибрационные, ударные и пр.) факторы, так или иначе влияющие как на параметры обслуживаемых объектов, так и на характеристики процесса функционирования поверочных органов. В формализованном виде внешняя среда может быть описана J -мерным вектором $D_j = (D_{j1}, \dots, D_{jJ}, \dots, D_j)$, в котором каждая компонента $D_j = P_j, W_j$ описывает параметры отдельного фактора внешней среды – вероятность P_j возникновения j -го фактора и степень его проявления (воздействия) W_j .

В качестве исследуемой системы рассматривается ведомственная распределенная система поверочных органов, характеризующая своей структурой и организацией процессов функционирования.

Структура ведомственной метрологической службы представляет собой совокупность M территориально распределенных поверочных органов, и может быть описана M -мерным вектором $Z_M = (Z_1, \dots, Z_m, \dots, Z_M)$. Каждая компонента Z_m этого вектора описывает параметры и характеристики построения (структурные параметры) поверочных органов и может быть представлена в виде

$$Z_m = B_m, G_m, M_G, m = \overline{1, M}, \quad (3)$$

где B_m – множество параметров, характеризующих территориальное расположение поверочных органов; G_m – множество, характеризующее области аккредитации и количество соответствующих им типов рабочих мест по поверке СИ в поверочном органе; M_G – множество, характеризующее интенсивности обслуживания μ_G заявок на поверку СИ на рабочих местах каждого типа, определяемые нормами времени на поверку СИ.

Организация функционирования поверочных органов в подобной системе характеризуется рядом факторов, таких как распределение заявок на поверку СИ от объектов по поверочным органам (или закрепление объектов за поверочными органами), календарная очередность поступления партий СИ на поверку в поверочные органы, способы и маршруты доставки СИ в поверочные органы и обратно. В соответствии с этим варианты организации поверочных работ могут характеризоваться вектором X , определяемым как отношение на декартовом произведении составляющих его множеств:

$$X \subseteq R \times T \times S = \{(r; t; s) | r \in R \wedge t \in T \wedge s \in S\}, \quad (4)$$

где R – множество допустимых вариантов распределения заявок на поверку СИ от всех объектов по поверочным органам; T – множество допустимых вариантов календарных планов представления партий СИ на поверку; S – множество допустимых вариантов маршрутов доставки партий СИ в поверочные органы и обратно; r, t, s – соответственно элементы множеств R, T и S , а $x = (r; t; s)$ – вариант организации поверочных работ из множества вариантов X ($x \in X$).

Качество построения и функционирования рассматриваемой системы, включающей территориально распределенные обслуживаемые объекты и поверочные подразделения ведомственной метрологической службы, целесообразно оценивать по совокупности показателей технико-экономической эффективности, включающей показатели результативности, оперативности и ресурсоемкости $Y = (Y_1, Y_2, Y_3)$.

Если параметры обслуживаемых объектов O_N и существующей инфраструктуры Q_I являются заданными и неизменными, а возможные условия D_J выполнения работ (определяемые совокупностью воздействующих факторов внешней среды) известны с некоторыми вероятностями, то частные технико-экономические показатели эффективности могут быть представлены как некоторые функции от варьируемых структурных параметров исследуемой системы и параметров организации поверочных работ, т.е. в общем случае имеет место отображение

$$f: Z, X \rightarrow Y \Leftrightarrow \forall z \in Z \wedge x \in X \exists y \in Y: y = f(z, x) \text{ при известных } O_N, Q_I, D_J, \quad (5)$$

где Y – обобщенное обозначение определяемого показателя.

Представленное формализованное описание может быть положено в основу постановки и решения широкого круга различных задач: от оценки отдельных показателей качества построения и функционирования поверочных органов, включая выбор вариантов параметров организации поверки и заканчивая задачами риск-ориентированного структурно-функционального синтеза системы в целом по совокупности технико-экономических показателей.

Решение подобных задач характеризуется необходимостью учета множества параметров и вариантов их сочетаний, и как следствие – исключительно высокой размерностью, невозможностью адекватного описания рассматриваемых процессов в рамках одной модели. Вследствие этого представляется целесообразным использование многомодельного подхода, подразумевающего многоаспектное моделирование различных сторон построения и функционирования исследуемой системы с учетом различных факторов, а также согласование и объединение частных моделей в единый комплекс.

Структура комплекса моделей

В состав комплекса моделей предусматривается включить частные модели, отражающие отдельные значимые аспекты построения и функционирования системы и позволяющие установить отношения между параметрами исследуемой системы и значениями выбранных показателей качества. При этом модель объекта – источника заявок на обслуживание и модель внешней среды в контексте данной задачи выступают как внешние формирующие исходные данные для решаемой задачи.

Структура комплекса моделей представлена на рис. 1.

Рассмотрим далее назначение, подходы к построению и порядок взаимодействия частных моделей при решении различных задач.

Модель распределения работ предназначена для описания распределения поверочных работ в установившемся стационарном режиме функционирования обслуживаемых объектов и поверочных органов, оценки качества такого распределения по значимым показателям, выбора вариантов распределения поверочных работ на основе такой оценки.

Ведомственная метрологическая служба является обеспечивающей и функционирует в интересах вышестоящей системы. Поэтому вполне естественным представляется создавать (или адаптировать) ее под потребности объектов обслуживания. Это означает, что распределение сил и средств поверки, области аккредитации поверочных органов целесообразно устанавливать в интересах рациональной организации обслуживания на всей обслуживаемой территории, а в случае необходимости – производить их перераспределение. Поэтому определяемыми параметрами в данной модели могут быть как параметры состава поверочных органов, так и, собственно, распределение объемов работ между поверочными органами.

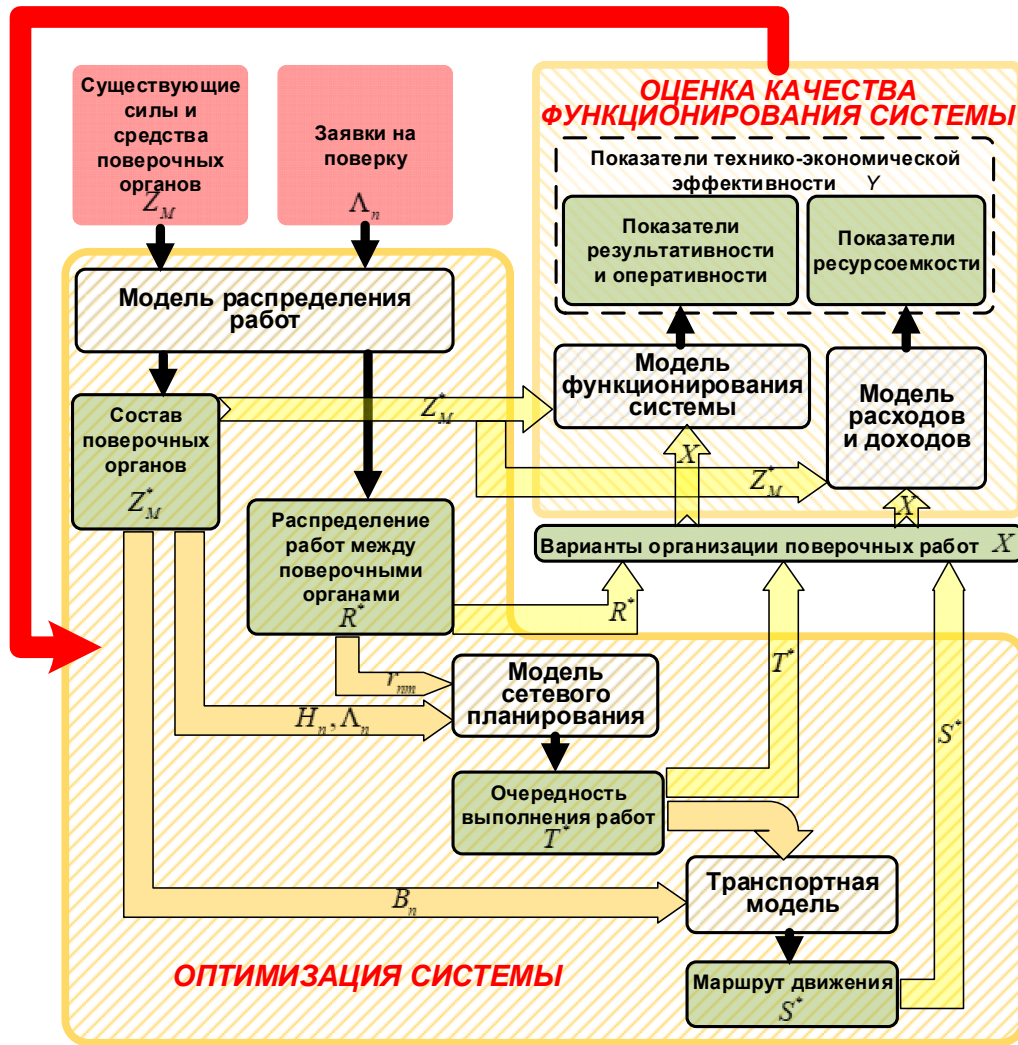


Рис. 1. Структура комплекса моделей

Структурные параметры системы поверочных органов могут быть определены в зависимости от нагрузочных характеристик потока заявок обслуживаемой системы и параметров существующей инфраструктуры, что в формализованном виде описывается отображением

$$f_1 : O_N, Q_I \rightarrow Z_M. \tag{6}$$

При известном составе поверочных органов может быть произведено распределение работ по поверке СИ от всех объектов по поверочным органам:

$$f_2 : O_N, Q_I, Z_M \rightarrow R. \tag{7}$$

Оценивание качества такого распределения поверочных работ целесообразно производить с позиций обеспечения оперативности. Требование оперативности подразумевает обеспечение своевременности поверочных работ и минимальной продолжительности нахождения СИ в поверочных органах (с учетом времени доставки и ожидания обслуживания). Кроме того, от показателей оперативности во многом зависят и экономические показатели поверочных работ. Поэтому модель должна позволять оценивать показатели оперативности работ в зависимости от значений структурных параметров системы поверочных органов и вариантов закрепления объектов – источников заявок между поверочными органами:

$$Y_T = Y_T(Z_M, R), \text{ при заданных } O_N, Q_I, \tag{8}$$

где Y_T – определяемый временной показатель.

Задача определения структурных параметров системы поверочных органов может решаться на основе моделей систем и сетей массового обслуживания с различными классами заявок [2, 3].

Задача рационального распределения поверочных работ в территориально распределенной системе, включающей N объектов – источников заявок на обслуживание и M поверочных органов, может быть интерпретирована в рамках известных задач линейного программирования, таких как обобщенная задача о назначениях, или как вариант многопродуктовой транспортной задачи с различными типами работ и исполнителей [4].

Результатом решения подобной задачи является схема закрепления, описывающая выбранный вариант закрепления объектов – источников заявок на поверку СИ между поверочными органами применительно к установившемуся режиму функционирования системы. В формализованном виде некоторый вариант закрепления R^* может быть описан матрицей:

$$R^* = r_{nm}, n = \overline{1, N}; m = \overline{1, M}. \quad (9)$$

Компоненты матрицы r_{nm} могут представлять собой числа, характеризующие количество обслуживаемых в m -м поверочном органе заявок от n -го объекта, либо вероятности поступления в m -й поверочный орган заявок на обслуживание от n -го объекта. В частном случае, когда от одного объекта обслуживания все заявки предусматривается направлять только в один поверочный орган, компоненты данной матрицы принимают значения только 0 или 1.

При известном варианте закрепления могут быть определены также величины нагрузки и коэффициенты загрузки каждого поверочного органа.

При выбранном составе поверочных органов и сформированных схемах закрепления могут решаться задачи планирования, включающие формирование календарных планов выполнения поверочных работ (календарное планирование), и планирование доставок СИ в поверочные органы и обратно или планирование передвижения подвижных поверочных лабораторий (планирование маршрутов). Для решения таких задач предназначены следующие модели – модель сетевого планирования и транспортная модель.

Модель сетевого планирования предназначена для описания распределения работ во времени, т.е. очередности и продолжительности выполнения работ по обслуживанию заявок каждого вида в каждом поверочном органе. Модель должна обеспечивать возможность рационального планирования работ во времени при известных параметрах потока заявок, выбранных структурных параметрах поверочных органов, выполненном закреплении объектов за поверочными органами с учетом существующей инфраструктуры. Иначе говоря, модель сетевого планирования предназначена для формирования допустимых вариантов календарных планов представления партий СИ на поверку:

$$f_3 : O_N, Q_I, Z_M, R \rightarrow T. \quad (10)$$

При формировании календарных планов должны использоваться в первую очередь временные показатели, характеризующие, с одной стороны – очередность представления и выполнения работ по поверке, общую продолжительность нахождения СИ в поверочных органах, с другой стороны – загрузку рабочих мест по поверке.

Результат применения модели – сетевой план выполнения работ T^* , который в формализованном виде может быть представлен следующим образом:

$$T^* = (\tau_{1,1}^\circ, \tau_{1,2}^\circ, \dots, \tau_{n,m}^\circ), n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \quad (11)$$

где $\tau_{n,m}^\circ$ – момент начала обслуживания заявки из n -го объекта обслуживания в m -м поверочном органе.

Отличительной особенностью данной модели является возможность координации (распределения) заявок по времени с учетом ограничений ресурсов поверочных органов и учетом предпочтительных моментов удовлетворения заявок для объектов обслуживания.

Данная задача является разновидностью задач сетевого планирования, подходы к решению подобных задач описаны, например, в работах [5, 6].

На основе применения данной модели формируются календарные планы работ поверочных органов и календарные план-графики представления на поверку СИ от всех объектов.

Транспортная модель предназначена для описания и планирования способов и маршрутов доставки партий СИ в поверочные подразделения либо маршрутов движения подвижных поверочных лабораторий. Данная модель должна обеспечивать возможность оптимального или рационального транспортного планирования при известных параметрах потока заявок и составе поверочных органов, выполненном закреплении объектов за поверочными органами, с учетом спланированных сроков завершения работ и существующей транспортной инфраструктуры. Для случаев обслуживания заявок в стационарных поверочных органах транспортная модель обеспечивает формирование допустимых способов и маршрутов доставки партий СИ в поверочные органы и обратно; а при обслуживании на местах расположения СИ – формирование рациональных маршрутов перемещений подвижных поверочных лабораторий между обслуживаемыми объектами:

$$f_4 : O_N, Q_I, Z_M, R, T \rightarrow S. \quad (12)$$

В качестве основных показателей качества в данной модели целесообразно использовать суммарную продолжительность и стоимость транспортирования (с учетом доступных видов транспорта), а также суммарные расстояния, среднюю и максимальную продолжительность отсутствия СИ на объектах по причине проведения проверок с учетом времени транспортирования и ожидания обслуживания.

Результатом решения задачи транспортного планирования являются маршруты движения транспортных средств при доставке СИ или маршруты движения подвижных поверочных лабораторий, обеспечивающие соответствие план-графикам представления СИ на проверку.

В формализованном виде некоторый вариант маршрутов доставки партий СИ S^* может быть описан в виде

$$S^* = (s_{1,1}^1, s_{1,2}^1, \dots, s_{n(m),m}^n), n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \quad (13)$$

где $s_{n(m),m}^n$ – маршрут движения средств измерений из n -ого объекта обслуживания в m -й поверочный орган (из одного поверочного органа в другой поверочный орган).

Отличительной особенностью данной модели является возможность формирования маршрута движения таким образом, что при прибытии в каждый поверочный орган его рабочие места не будут задействованы для выполнения других работ. При этом продолжительность между окончанием обслуживания в предыдущем и началом обслуживания в следующем поверочном органе равна продолжительности транспортировки между этими поверочными органами.

Подобные задачи могут решаться на основе методов линейного программирования, при этом задача определения маршрутов доставки СИ в стационарные поверочные органы может решаться как разновидность многопродуктовой транспортной задачи, а в случае использования подвижных поверочных лабораторий – как задача о коммивояжере. Подходы к решению подобных задач описаны, например, в работах [7, 8].

Следующую группу составляют модели, на основе которых возможно оценить качество функционирования системы в целом (включая и обслуживаемые объекты, и поверочные органы) по совокупности технико-экономических показателей. К этой группе относятся модель функционирования системы и модель расходов и доходов. В качестве входных данных для данных моделей используются полученные на основе уже рассмотренных моделей допустимые варианты решения частых задач распределения работ, планирования сроков и маршрутов доставки.

Модель функционирования системы предназначена для описания процессов выполнения поверочных работ в территориально распределенной ведомственной системе поверочных органов при различных вариантах построения системы, распределения и организации работ, а также для оценивания технических показателей качества функционирования системы. Основное назначение модели – определение для продолжительного во времени установившегося режима зависимостей показателей результативности и временных показателей процессов функционирования от структурных и функциональных параметров поверочных органов при заданных параметрах обслуживаемых объектов, существующей инфраструктуры и возможных условиях выполнения работ:

$$Y_r = Y_r(Z, X), \quad Y_t = Y_t(Z, X), \quad \text{при заданных } O_N, Q_I, D_J,$$

$$Y_r \in Y_R, \quad Y_t \in Y_T, \quad (14)$$

где Y_R и Y_T – множества определяемых показателей результативности и оперативности соответственно.

В качестве показателей результативности поверочной деятельности могут использоваться:

- вероятность достижения цели $P_{\text{ДЦ}}(T_{\text{пл}})$ – вероятность того, что за установленный интервал времени $T_{\text{пл}}$ объем качественно выполненных поверочных работ окажется не меньше запланированного;
- отношение количества качественно выполненных за плановый период проверок СИ к числу запланированных проверок $N_p(T_{\text{пл}}) / N_o(T_{\text{пл}})$ и др.

В составе показателей оперативности целесообразно использовать:

- вероятность выполнения запланированного объема работ за заданное время, т.е. вероятность того, что фактическое время $\tau_{\text{ф}}$ выполнения требуемого объема N_0 работ по проверке не превысит планового $T_{\text{пл}}$: $P_{N_0}(\tau_{\text{ф}} \leq T_{\text{пл}})$;
- средние продолжительности составляющих процесса проверки: времени доставки $\tau_{\text{тр}}$, времени ожидания в очереди $\tau_{\text{ож}}$, собственно времени проверки $\tau_{\text{п}}$, времени обслуживания в целом $\tau_{\text{обсл}} = \tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{ож}} + \tau_{\text{п}}$;
- средняя доля времени, в течение которого СИ отсутствуют на месте штатной эксплуатации по причине проведения проверки и др.

При этом показатели результативности и оперативности процессов проверки СИ являются взаимозависимыми через общие каналы обслуживания.

В основе такой модели функционирования поверочных органов может быть использован математический аппарат локально сбалансированных замкнутых неоднородных сетей массового обслуживания [2, 3, 10]. Это позволит определить нагрузочно-временные характеристики функционирования системы, а через них – показатели результативности и оперативности, причем с учетом как структурных параметров системы, так и параметров организации поверочных работ.

Модель расходов и доходов предназначена для описания процессов расходования ресурсов при различных вариантах построения поверочных органов и организации работ, определения величин расходуемых ресурсов и получаемых доходов, а также оценивания экономической эффективности поверочной деятельности. В модели могут рассматриваться различные виды ресурсов: природные (газ, вода, воздух и др.), материальные (оборудование, электроэнергия, топливо и пр.), информационные (обучение, документация и пр.), трудовые (персонал), финансовые. Ресурсы различных видов выражаются в принятых для них натуральных единицах. Кроме того, все ресурсы посредством пересчета могут быть сведены к стоимостным. Поэтому в качестве показателей ресурсоемкости можно использовать как собственно объемы расходуемых ресурсов, так и их стоимости.

В составе стоимостных показателей принято выделять две группы затрат: единовременные и текущие. Единовременные (капитальные) затраты могут включать затраты на строительство (оборудование) помещений поверочных подразделений, оснащение рабочих мест по проверке СИ, первоначальное обучение персонала, приобретение (разработку) нормативно-технической документации, создание резервного парка СИ, приобретение транспортных средств. Эти затраты определяются главным образом параметрами системы поверочных органов – видами областей аккредитации на проверку и необходимым количеством соответствующих им типов рабочих мест по проверке СИ:

$$Y_K = Y_K(G_M), \quad \text{при заданных } O_N, Q_I, D_J. \quad (15)$$

Текущие затраты обусловлены расходованием ресурсов в процессе функционирования системы. Составляющие текущих затрат многочисленны и разнообразны. Величины составляющих текущих затрат зависят как от структурных параметров системы, так и от параметров

организации работ. Общие текущие затраты определяют, как правило, как сумму составляющих за календарный интервал времени, обычно равный одному году:

$$Y_C(t) = Y_C(O_N, Q_I, Z_M, R, T, S) = \sum_{k=1}^K C_k(t), \quad (16)$$

где $C_k(t)$, $k = \overline{1, K}$ – составляющие по видам текущих затрат (например, транспортные расходы, затраты на эксплуатацию средств поверки, оплата электроэнергии, расходных материалов, амортизационные отчисления, заработная плата с отчислениями и пр.) за год.

Суммарные затраты на поверочную деятельность в ведомственной метрологической службе можно оценить через величину приведенных затрат, определяемых с учетом текущих и капитальных составляющих.

В случае, если предусматривается коммерческая деятельность, необходим также учет доходов. Расчет составляющих доходов также производится за год функционирования.

Для корректного учета результатов экономической деятельности на продолжительном интервале функционирования целесообразно использовать модели дисконтированных денежных потоков [9, 10]. На основе такой модели могут быть определены как собственно затраты и доходы, так и значения показателей экономической эффективности: экономический эффект, чистый доход, срок окупаемости и др.

С использованием модели функционирования системы и модели расходов и доходов может производиться оценивание по совокупности показателей как отдельных аспектов функционирования поверочных органов, так и технико-экономической эффективности системы в целом.

Заключение

Рассмотренный комплекс моделей позволяет с единых позиций выполнить формализованное описание состава и функционирования территориально распределенной ведомственной системы поверочных органов, определить множества основных параметров системы и показателей качества, а также отношения между этими множествами.

С использованием комплекса моделей возможно формирование и оценивание вариантов построения поверочных подразделений и организации поверочных работ. Для выбора наиболее предпочтительных в некотором смысле или рациональных вариантов необходимо совместное использование частных моделей в единой итерационной процедуре формирования, оценивания и сравнения вариантов.

Список литературы

1. Калинин В. Н., Резников Б. А., Варакин Е. И. Теория систем и оптимального управления. Л. : Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского, 1979. С. 112.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М. : Машиностроение, 1979. 432 с.
3. Ефремов А. С., Швед А. С., Лукичев Л. В. Структурно-функциональная модель распределенной системы поверочных органов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 2. С. 22–30.
4. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г. Задачи и методы линейного программирования. М. : Советское радио, 1969. 736 с.
5. Буснюк Н. Н. Разновидности задачи сетевого планирования, некоторые методы их решения и алгоритмические оценки // Алгоритмизация и программирование. 2017. № 3. С. 101–104.
6. Буснюк Н. Н., Новиков В. А. Метод решения задачи сетевого планирования при ограниченных трудовых ресурсах // Труды БГТУ. Физико-математические науки и информатика. 2017. № 2. С. 126–128.
7. Шикин Е. В., Чхартишвили А. Г. Математические методы и модели в управлении. М. : Дело, 2004. 440 с.
8. Khoufi I., Laouiti A., Adjih C. A survey of recent extended variants of the traveling salesman and vehicle routing problems for unmanned aerial vehicles // Drones. 2019. Vol. 3, № 3. P. 30.
9. Ефремов А. С., Иванов А. В., Лукичев Л. В. Определение показателей качества организации поверочных работ в децентрализованной распределенной системе поверочных органов // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 2. С. 30–38.
10. Ефремов А. С., Васюкович Д. С., Пузанков С. В. Оценка технико-экономической эффективности функционирования системы поверочных органов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 47–55.

References

1. Kalinin V.N., Reznikov B.A., Varakin E.I. *Teoriya sistem i optimal'nogo upravleniya = Theory of systems and optimal control*. Leningrad: Voennyi inzhenernyi krasnoznamennyi institut im. A.F. Mozhayskogo, 1979:112. (In Russ.)
2. Kleynrok L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya = Theory of mass service*. Moscow: Mashinostroenie, 1979:432. (In Russ.)
3. Efremov A.S., Shved A.S., Lukichev L.V. Structural and functional model of a distributed system of verification organs. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2020;(2):22–30. (In Russ.)
4. Yudin D.B., Gol'shteyn E.G. *Zadachi i metody lineynogo programmirovaniya = Tasks and methods of linear programming*. Moscow: Sovetskoe radio, 1969:736. (In Russ.)
5. Busnyuk N.N. Varieties of network planning tasks, some methods of their solution and algorithmic estimates. *Algoritmizatsiya i programmirovaniye = Algorithmization and programming*. 2017;(3):101–104. (In Russ.)
6. Busnyuk N.N., Novikov V.A. A method for solving the problem of network planning with limited labor resources. *Trudy BGTU. Fiziko-matematicheskie nauki i informatika = Proceedings of BSTU. Physical and mathematical sciences and computer science*. 2017;(2):126–128. (In Russ.)
7. Shikin E.V., Chkhartishvili A.G. *Matematicheskie metody i modeli v upravlenii = Mathematical methods and models in management*. Moscow: Delo, 2004:440. (In Russ.)
8. Khoufi I., Laouiti A., Adjih C. A survey of recent extended variants of the traveling salesman and vehicle routing problems for unmanned aerial vehicles. *Drones*. 2019;3(3):30.
9. Efremov A.S., Ivanov A.V., Lukichev L.V. Determination of quality indicators for the organization of verification work in a decentralized distributed system of verification bodies. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2021;(2):30–38. (In Russ.)
10. Efremov A.S., Vasyukovich D.S., Puzankov S.V. Assessment of the technical and economic efficiency of the functioning of the verification system. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2022;(3):47–55. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Станиславович Ефремов

кандидат технических наук, доцент,
преподаватель кафедры метрологического
обеспечения вооружения, военной
и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: vka@mil.ru

Andrey S. Efremov

Candidate of technical sciences, associate professor,
lecturer of the sub-department of metrological
support of arms, military and special equipment,
Military Space Academy
named after A.F. Mozhaisky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Леонид Викторович Лукичев

кандидат технических наук, преподаватель
кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: vka@mil.ru

Leonid V. Lukichev

Candidate of technical sciences,
lecturer of the sub-department of metrological
support of arms, military and special equipment,
Military Space Academy
named after A.F. Mozhaisky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 28.06.2024

Поступила после рецензирования / Revised 22.07.2024

Принята к публикации / Accepted 12.08.2024