

УДК 389: 621.317.004(06)

С.С. Войтенко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье предложена полумарковская модель для расчета живучести системы метрологического обслуживания средств измерительной техники при управляющем воздействии.

**Ключевые слова:** система метрологического обслуживания, средства измерительной техники, управляющее воздействие.

### Введение

**Постановка проблемы.** В настоящее время продолжают попытки создать малочисленные и в тоже время боеспособные Вооруженные Силы Украины. Это ставит ряд научных задач, одной из которых является создание мобильной и живучей системы метрологического обслуживания (СМОб) средств измерительной техники (СИТ), что, в свою очередь, требует организации управления в данной системе, которое должно отвечать требованиям к перспективным системам вооружения и военной техники (ВВТ) и быть адаптивным к возникающей обстановке.

**Анализ литературы.** Вопросам управления СМОб СИТ посвящены работы [1 – 5]. Так, управление поверочной деятельностью территориального органа Госстандарта освещено в работе [1]. О необходимости совершенствования методов управления СМОб СИТ рассматривался вопрос в [2], где также указываются пути их совершенствования. Модели подсистемы управления в структуре СМОб СИТ предлагаются в [3,4]. Частично о показателях эффективности СМОб СИТ, как подсистемы системы метрологического обеспечения Вооруженных Сил Украины говорится в [5]. Однако в этих и других работах нет предложений по расчету живучести СМОб СИТ при управляющем воздействии.

**Цель статьи** заключается в разработке модели позволяющей определить живучесть СМОб СИТ при управляющем воздействии.

### Основной материал

Под живучестью СМОб СИТ будем понимать способность системы выполнять свои функции при воздействии внешних факторов.

СМОб СИТ представим как развитие ее состояний на интервале  $[0, T]$ , где  $T$  – время выполнения задания по метрологическому обслуживанию СИТ группировки войск. Управление в каждый момент времени  $t \in [0, T]$  характеризуется парком СИТ  $N^0(t)$ , прошедших метрологическое обслуживание.

Принятие решения о методе управления основывается на данных о парке СИТ  $N^{i \dot{a}}(t)$ , требующих метрологического обслуживания на момент времени  $t$ .

Среди СИТ разных типов  $\{N_1^0(t), \dots, N_m^0(t)\}$  имеется  $l < m$  типов СИТ, отсутствие которых на образцах ВВТ строго ограничено из-за влияния на их готовность к применению.

Недостаточное количество обслуженных СИТ  $i$ -го типа  $N_i^{i \dot{a}}(t)$ ,  $i = \overline{1, m}$  в момент времени  $t$  из комплекта ВВТ может быть, согласно [6], отождествлен с критической ситуацией.

Достижение парка необслуженных СИТ  $i$ -го типа максимально допустимого количества либо отсутствие СИТ  $l$ -го типа в комплекте ВВТ определяют моменты времени, когда перераспределение сил и средств СМОб становится необходимым. Если такой ситуации не возникает, то процесс управления представляет собой монотонную функцию, т.е. корректирующие (управляющие) воздействия необходимы для сохранения устойчивости работы СМОб СИТ.

Необходимость в перераспределении потоков СИТ возникает в связи с изменениями как внешних (увеличение потоков СИТ, требующих метрологического обслуживания, в результате воздействия противника либо природных катаклизмов), так и внутренних факторов (изменение производственных возможностей метрологических лабораторий (МЛ) по тем же причинам). Поэтому управление в СМОб СИТ необходимо для компенсации влияющих факторов как внешних, так и внутренних.

Примем допущение о неоднородном по времени пуассоновском потоке компенсируемых отказов в метрологическом обслуживании (МОб) СИТ.

Пусть в СМОб СИТ имеются следующие потоки случайных событий:

– неоднородный по времени пуассоновский поток отказов в МОб СИТ с мгновенной интенсивностью  $\nu(e)$ ;

– однородный пуассоновский поток внезапных отказов в МОб СИТ с интенсивностью  $\eta$ ;

– однородный пуассоновский поток внезапных отказов в управляющем звене (нет возможности определить вариант компенсации утраченных производственных возможностей МЛ за счет перераспределения сил и средств) с интенсивностью  $\mu$ .

Случайность воздействия влияющих факторов на СМОб, а также на ее функциональную готовность перед началом боевой операции порождает случайность управления в СМОб СИТ.

Предположим также, что:

– время управления – непрерывная случайная величина с произвольным законом распределения

$$F(\tau) = P\{t_{oi} \leq \tau\},$$

где  $\tau$  – планируемое время проведения МОб СИТ группировки войск, участвующей в боевой операции;

– управление, связанное с перераспределением сил и средств СМОб, начинается в момент времени, при котором количество необслуженных СИТ  $i$ -го типа достигает максимально допустимого значения или СИТ  $l$ -го типа на образцах ВВТ по какой-либо причине вышли из строя;

– процесс управления квазистационарный, т.е. решение о перераспределении сил и средств СМОб принимается по оперативной обстановке.

Случайный процесс развития состояний изучается с помощью фазового пространства, состоящего из множества изолированных точек и полупрямой ( $0 \leq \tau < \infty$ ). При сделанных допущениях эволюция состояний СМОб СИТ при управляющем воздействии образует полумарковский случайный процесс.

Для снижения размерности задачи рассмотрим следующие обобщенные состояния:

$S_1(t)$  – СМОб СИТ выполняет свои функции в полном объеме, все МЛ работают на полную мощность;

$S_2(t, \tau)$  – внезапных отказов в МОб СИТ нет, управляющие звенья системы заняты поиском способов компенсации возможных отказов в течение времени  $\tau$ ;

$S_3(t)$  – в момент времени  $t$  возник внезапный отказ в управляющем звене (потеряна связь с МЛ), отказов в МОб СИТ нет;

$S_4(t)$  – отказ в МОб потоку СИТ, обслуживаемых в МЛ, и внезапный отказ в управляющем звене;

$S_5(t)$  – попадание СМОб СИТ в момент времени  $t$  в поглощающий экран (т.е. у СМОб СИТ нет возможностей выполнить метрологические работы).

Состояниям  $S_i(t)$ ,  $i=1, 3, 5$ , в фазовом пространстве соответствуют изолированные точки, состоянию  $S_2(t, \tau)$  – полупрямая. Граф переходов для управления СМОб СИТ приведен на рис. 1.

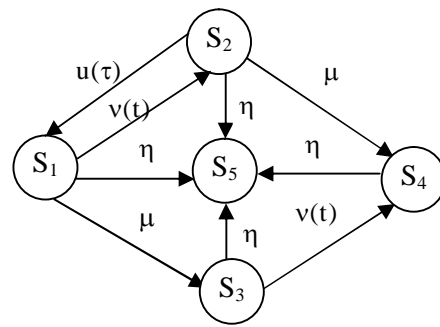


Рис. 1. Граф переходов управления СМОб СИТ

Развитие состояний СМОб СИТ представим следующей системой интегро-дифференциальных уравнений с переменным параметром  $v(t)$  [7]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_1(t) &= -(v(t) + \lambda + \eta)P_1(t) + \int_0^t P_2(t, \tau)u(\tau)d\tau; \\ \frac{\partial p_2(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial p_2(t, \tau)}{\partial \tau} &= -(u(\tau) + \mu + \eta)p_2(t, \tau); \\ \dot{P}_3(t) &= \mu P_1(t) - (v(t) + \eta)P_3(t); \\ \dot{P}_4(t) &= \mu \int_0^t p_2(t, \tau)d\tau + v(t)P_3(t) - \eta P_4(t); \\ \dot{P}_5(t) &= \eta(1 - P_5(t)), \end{aligned} \right\} (1)$$

здесь приняты следующие условия:

– на начало боевой операции считаем, что СМОб СИТ выполняет свои функции в полном объеме, т.е.

$$P_1(0) = 1,$$

$$P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = 0;$$

условие нормировки:

$$\int_0^t P_2(t, \tau)d\tau + \sum_{i=1, i \neq 2}^5 P_i(t) = 1.$$

Проделав математические преобразования, основанные на операционном исчислении [8], для решения системы (1) в изображениях при  $v(t) = \text{const}$  получим:

$$\left. \begin{aligned} \bar{P}_1(\alpha) &= \{\alpha + \mu + \eta + v[1 - \bar{g}(\alpha + \mu + \eta)]\}^{-1}; \\ \bar{P}_2(\alpha) &= \bar{P}_1(\alpha)v[1 - \bar{g}(\alpha + \mu + \eta)](\alpha + v + \eta)^{-1}; \\ \bar{P}_3(\alpha) &= \bar{P}_1(\alpha)\mu(\alpha + v + \eta)^{-1}; \\ \bar{P}_4(\alpha) &= \bar{P}_1v\mu(\alpha + \eta)^{-1}\{[1 - \bar{g}(\alpha + \mu + \eta)](\alpha + \mu + \eta)^{-1} + \\ &+ (\alpha + v + \eta)^{-1}\}; \\ \bar{P}_5(\alpha) &= \eta[\alpha(\alpha + \eta)]^{-1}, \end{aligned} \right\}$$

где  $\bar{g}(\bullet)$  – преобразование Лапласа дифференциального закона распределения времени адаптации СМОб при управляющем воздействии.

Для СМОб СИТ, способной функционировать в определенные моменты времени без адаптации к

возникающим изменениям обстановки, т.е. без обратной связи, при множестве благоприятных состояний  $\{S_i\}$ ,  $i = \overline{1, 4}$ , вероятность безотказной работы системы в изображениях примет вид

$$\bar{P}_{\hat{N}\hat{I}} \hat{I} \hat{a}(\alpha) = \sum_{i=1}^4 \bar{P}_i(\alpha).$$

Математическое ожидание времени до первого внезапного отказа системы в обслуживании потока СИТ определяется выражением:

$$T_0 = \bar{P}_{\hat{N}\hat{I}} \hat{I} \hat{a}(\alpha)|_{\alpha=0} = \{\mu + \eta + \nu(1 - \bar{g}(\mu + \eta))\}^{-1} \times \\ \times \left\{ 1 + \nu[1 - \bar{g}(\mu + \eta)] \times (\mu + \eta)^{-1} + \mu(\nu + \eta)^{-1} + \right. \\ \left. + \nu\mu\eta^{-1} \times \left[ (1 - \bar{g}(\mu + \eta))(\mu + \eta)^{-1} + (\nu + \eta)^{-1} \right] \right\}.$$

Если необходимо, чтобы управление СМОБ СИТ осуществлялось в течение всего времени проведения боевой операции, то

$$\bar{P}_{\hat{N}\hat{I}} \hat{I} \hat{a}(\alpha) = \sum_{i=1}^3 \bar{P}_i(\alpha).$$

Математическое ожидание времени до первого нескомпенсированного отказа в МОБ СИТ:

$$T_{OT} = \sum_{i=1}^3 \bar{P}_i(\alpha)|_{\alpha=0} = \{\mu + \eta + \nu[1 - \bar{g}(\mu + \eta)]\}^{-1} \times \\ \times \left\{ 1 + \nu[1 - \bar{g}(\mu + \eta)] \times (\mu + \eta)^{-1} + \mu(\nu + \eta)^{-1} \right\}.$$

При известном законе распределения случайного времени адаптации управления получают показатели живучести СМОБ СИТ в оригиналах.

### Вывод

В статье предложен вариант расчета живучести СМОБ СИТ при управляющем воздействии, исходя из оперативной обстановки, а это дает возможность формировать систему для выполнения своих функций в полном объеме. Соответственно ВВТ будет максимально укомплектовано метрологически исправными СИТ, что должно способствовать выполнению задач, возложенных на группировку войск, участвующей в боевой операции.

### МОДЕЛЬ РАЗРАХУНКУ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

С.С. Войтенко

*В статті запропонована полумарківська модель для розрахунку живучості системи метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки при управляючому впливі.*

**Ключові слова:** система метрологічного обслуговування, засоби вимірювальної техніки, вплив, що управляється.

### MODEL OF SURVIVANCE CALCULATION OF METROLOGY SYSTEM MAINTENANCES OF MEASURING TECHNIQUE FACILITIES

S.S. Voytenko

*In the article a semi-Markovian model is offered for the calculation of vitality of the system of metrology maintenance of facilities of measuring technique at controls influence.*

**Keywords:** system of metrology service, facilities of measuring technique, managing influence.

### Перспективы дальнейших исследований

Возникает необходимость расчета живучести существующей СМОБ СИТ, для определения направлений совершенствования как данной подсистемы системы метрологического обеспечения Вооруженных Сил Украины в целом, так и её управлением.

### Список литературы

1. Джанелидзе М.В. Функциональная структура системы управления поверочной деятельностью территориального органа Госстандарта СССР / М.В. Джанелидзе, Ю.С. Наткович // Измерительная техника. – 1987. – Вып.5. – С. 59–61.
2. Кибанов А.Я. Некоторые вопросы совершенствования метрологической службы / А.Я. Бабанов // Измерительная техника. – 1983. – Вып. 8. – С. 13-14.
3. Чинков В.Н. Модель системы метрологического обслуживания средств измерительной техники / В.Н. Чинков, С.С. Войтенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2002. – Вып. 3(19). – С. 58-62.
4. Войтенко С.С. Модель иерархической адаптивной обеспечивающей подсистемы метрологического обслуживания средств измерительной техники / С.С. Войтенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2002. – Вып. 5(21). – С. 65-67.
5. Кононов В.Б. Шляхи удосконалення системи метрологічного забезпечення Збройних Сил України / В.Б. Кононов // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 2(28). – С. 157-159.
6. Керівництво з експлуатації вимірювальної техніки. Ч.1. – К.: Варта, 2001. – 104 с.
7. Надежность и эффективность в технике. Справочник Т. 5. / Под ред. В.И. Патрушева. – М.: Машиностроение, 1988. – 320 с.
8. Корн Г.А. Справочник по математике / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Наука, 1977. – 832 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.