

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ  
СРЕДНИХ ЧИСЛЕННОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХ-  
НИКИ  
СЛОЖНОГО ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

А.П. Волобуев, М.Ю. Яковлев  
(представил д.т.н. А.М. Крюков)

*В статье предложена математическая модель динамики средних численностей средств измерительной техники сложного военно-технического комплекса, учитывающая возможные методы метрологического обслуживания средств измерительной техники в условиях разомкнутых метрологических цепей.*

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день эффективность метрологического обслуживания (МЛО) комплектов средств измерительной техники (СИТ) сложных военно-технических комплексов (СВТК) в условиях разомкнутых метрологических цепей (РМЦ), т.е. в условиях утраты связи комплекта СИТ СВТК с эталонной базой, существенно ниже эффективности МЛО комплектов СИТ СВТК в условиях замкнутых метрологических цепей (ЗМЦ). В связи с этим синтез системы МЛО комплектов СИТ СВТК, которая решала бы указанную проблему, представляет собой важную научную задачу.

**Анализ литературы.** Последние исследования и публикации по проблемам синтеза систем МЛО [1 – 7] рассматривают процессы МЛО, преимущественно, для условий ЗМЦ, что существенно снижает эффективность предложенных в них решений, так как комплекты СИТ СВТК эксплуатируются как в условиях ЗМЦ, так и РМЦ. Кроме того, данные работы опираются на один скалярный показатель эффективности МЛО – коэффициент готовности СИТ, отбрасывая другие, не менее важные показатели. В работах не используют современные достижения науки и техники в области МЛО, а именно: появление СИТ с самокалиброванием и метода контроля метрологических характеристик СИТ путем использования радиоэлектронных средств (РЭС) СВТК.

**Цель статьи.** Установить связь для условий РМЦ между характеристиками структуры комплекта СИТ СВТК, характеристиками системы

МЛО комплектов СИТ СВТК и одним из наиболее важных показателей эффективности МЛО комплектов СИТ СВТК – средней численностью работоспособных СИТ в комплекте СИТ СВТК, применяемых по назначению. Для этого рассмотрим математическую модель динамики средних численностей СИТ СВТК в условиях РМЦ.

**Граф переходов модели динамики средних.** Анализ процесса эксплуатации комплекта СИТ СВТК в условиях РМЦ показывает, что данный граф можно представить в виде рис. 1.

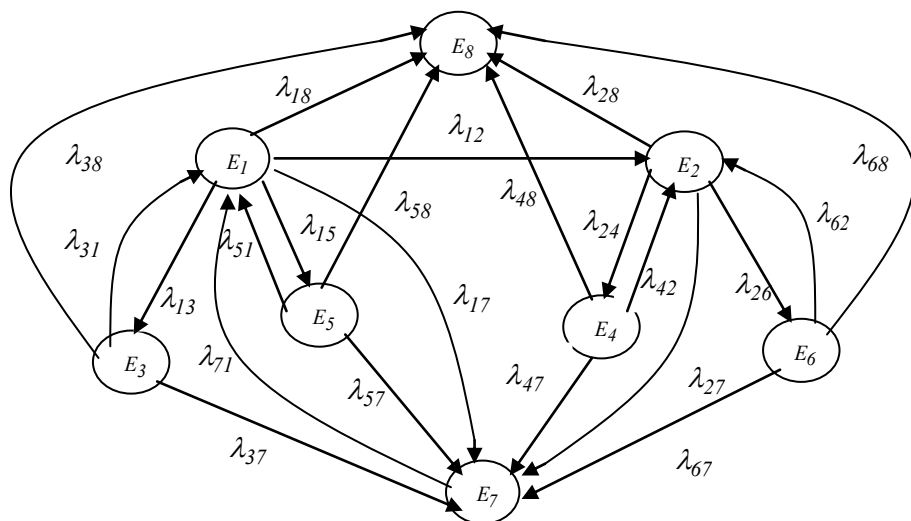


Рис. 1. Граф переходов модели динамики средних:

$\lambda_{ij}$  – интенсивности переходов СИТ из состояние  $i$  в состояние  $j$ , где  $i = 1 \div 8$ ,  $j = 1 \div 8$ ;  $E_1$  – состояние применения по назначению работоспособного СИТ;  $E_2$  – состояние применения по назначению СИТ со скрытым отказом;  $E_3$  – состояние контроля метрологических характеристик работоспособного СИТ путем использования РЭС СВТК;  $E_4$  – состояние контроля метрологических характеристик СИТ со скрытым отказом путем использования РЭС СВТК;  $E_5$  – состояние самокалибрования работоспособного СИТ;  $E_6$  – состояние самокалибрования СИТ со скрытым отказом;  $E_7$  – состояние замены штатного СИТ комплекта на СИТ из обменного фонда;  $E_8$  – состояние хранения СИТ, непригодного к применению по назначению

Предложенный граф переходов является обобщенным, поскольку объединяет в себе три графа, а именно: граф переходов процесса эксплуатации СИТ с самокалиброванием (СИТ<sub>ск</sub>), граф переходов процесса

эксплуатации СИТ, контроль метрологических характеристик которого осуществляется путем использования РЭС СВТК (СИТ<sub>к</sub>) и граф переходов процесса эксплуатации СИТ, обслуживаемого только путем использования обменного фонда (СИТ<sub>оф</sub>).

**Система дифференциальных уравнений динамики средних.** Введем в рассмотрение случайные величины:  $X_1^k(t)$  – число СИТ<sub>к</sub> комплекта СИТ СВТК,  $X_1^{ck}(t)$  – число СИТ<sub>ск</sub> комплекта СИТ СВТК и  $X_1^{of}(t)$  – число СИТ<sub>оф</sub> комплекта СИТ СВТК, находящихся в момент времени  $t$  в состоянии  $E_i$  графа переходов (рис. 1), которые будем называть численностями состояния  $E_i$  в момент  $t$  для соответствующего вида СИТ. На практике оперируют со средними численностями:  $m_1^k(t)$ ,  $m_1^{ck}(t)$ ,  $m_1^{of}(t)$ , являющими собой математические ожидания введенных случайных величин [8]. На основе метода динамики средних [8] с использованием предложенного графа переходов (рис.1) составим систему дифференциальных уравнений динамики средних для набора СИТ<sub>к</sub> из состава комплекта СВТК:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm_1^k(t)}{dt} = - \left[ \lambda_M^k + (\kappa_4 + \kappa_6)\lambda_{я}^k + \frac{\kappa_1 + \kappa_5 + \kappa_7}{T_k} \right] m_1^k + \frac{\kappa_1}{\tau_k} m_3^k + \frac{\kappa_8}{\tau_3} m_7^k; \\ \frac{dm_2^k(t)}{dt} = \lambda_M^k m_1^k - \left[ (\kappa_4 + \kappa_6)\lambda_{я}^k + \frac{\kappa_1 + \kappa_5 + \kappa_7}{T_k} \right] m_2^k + \kappa_1 \lambda_{но}^k m_4^k; \\ \frac{dm_3^k(t)}{dt} = \frac{\kappa_1}{T_k} m_1^k - \left[ \frac{\kappa_1}{\tau_k} + (\kappa_2 + \kappa_3)\lambda_{ло}^k \right] m_3^k; \\ \frac{dm_4^k(t)}{dt} = \frac{\kappa_1}{T_k} m_2^k - \left[ \kappa_1 \lambda_{но}^k + \frac{\kappa_2 + \kappa_3}{\tau_k} \right] m_4^k; \\ \frac{dm_7^k(t)}{dt} = \left( \kappa_6 \lambda_{я}^k + \frac{\kappa_7}{T_k} \right) m_1^k + \left( \kappa_6 \lambda_{я}^k + \frac{\kappa_7}{T_k} \right) m_2^k + \\ + \kappa_2 \lambda_{ло}^k m_3^k + \frac{\kappa_2}{\tau_k} m_4^k - \frac{\kappa_8}{\tau_3} m_7^k; \\ \frac{dm_8^k(t)}{dt} = \left( \kappa_4 \lambda_{я}^k + \frac{\kappa_5}{T_k} \right) m_1^k + \left( \kappa_4 \lambda_{я}^k + \frac{\kappa_5}{T_k} \right) m_2^k + \kappa_3 \lambda_{ло}^k m_3^k + \frac{\kappa_3}{\tau_k} m_4^k. \end{array} \right.$$

при начальных условиях:

$$m_1^k(0) = N_k;$$

$$m_2^k(0) = m_3^k(0) = m_4^k(0) = m_7^k(0) = m_8^k(0) = 0,$$

где  $\lambda_{\text{М}}^{\text{К}}$  – интенсивность метрологических отказов СИТ<sub>к</sub>;  $\lambda_{\text{я}}^{\text{К}}$  – интенсивность явных отказов СИТ<sub>к</sub>;  $\lambda_{\text{ЛО}}^{\text{К}}$  – интенсивность ложных отказов при контроле метрологических характеристик СИТ путем использования РЭС СВТК;  $\lambda_{\text{НО}}^{\text{К}}$  – интенсивность необнаруженных отказов при контроле метрологических характеристик СИТ путем использования РЭС СВТК;  $\kappa_1 \div \kappa_8$  – коэффициенты влияния стратегий использования обменного фонда [4];  $T_{\text{к}}$  – интервал времени между контролями метрологических характеристик СИТ путем использования РЭС СВТК;  $\tau_{\text{к}}$  – продолжительность контроля метрологических характеристик СИТ путем использования РЭС СВТК;  $N_{\text{к}}$  – количество СИТ<sub>к</sub> в комплекте СВТК.

Среднеквадратические отклонения численностей состояний можно найти по формуле [8]:

$$\sigma_i^{\text{К}}(t) = \sqrt{m_i^{\text{К}}(t) \left( 1 - \frac{m_i^{\text{К}}(t)}{N_{\text{к}}} \right)}.$$

Подход к составлению системы дифференциальных уравнений для наборов СИТ<sub>ск</sub> и СИТ<sub>оф</sub> аналогичен набору СИТ<sub>к</sub>.

Для достижения поставленной перед статьей цели введем еще одну случайную величину:

$$X(t) = X_1^{\text{К}}(t) + X_1^{\text{СК}}(t) + X_1^{\text{ОФ}}(t),$$

где  $X(t)$  – общая численность работоспособных СИТ в комплекте СИТ СВТК, применяющихся по назначению в условиях РМЦ для момента  $t$ .

Из теории вероятности [8] известно, что математическое ожидание  $X(t)$  определится из соотношения

$$m(t) = m_1^{\text{К}}(t) + m_1^{\text{СК}}(t) + m_1^{\text{ОФ}}(t), \quad (1)$$

а ее среднеквадратическое отклонение – из соотношения

$$\sigma(t) = \sigma_1^{\text{К}}(t) + \sigma_1^{\text{СК}}(t) + \sigma_1^{\text{ОФ}}(t). \quad (2)$$

Величины, входящие в соотношения (1) и (2), можно получить при решении вышеназванных систем дифференциальных уравнений для наборов СИТ<sub>к</sub>, СИТ<sub>ск</sub> и СИТ<sub>оф</sub> комплекта СВТК, что дает возможность установить интересующую нас связь.

**Выводы.** Предложенная математическая модель устанавливает связь для условий РМЦ между характеристиками структуры комплекта СИТ СВТК, характеристиками системы МЛО комплектов СИТ СВТК и

одним из основных показателей эффективности МЛО комплектов СИТ СВТК – средней численностью работоспособных СИТ в комплекте СИТ СВТК, применяющихся по назначению. Наличие данной связи позволяет оптимизировать структуру комплекта СИТ СВТК, оптимизировать систему МЛО комплектов СИТ СВТК с целью повышения эффективности МЛО комплекта СИТ СВТК в условиях РМЦ по рассматриваемому показателю эффективности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев Е.И. Оценка эффективности и параметрический синтез метрологического обеспечения радиоаппаратуры. – М.: МО СССР, 1984. – 385 с.
2. Крецюк В.В. Математическая модель системы МО контрольно-измерительной аппаратуры // Измерительная техника. – 1987. – № 4. – С. 74 – 78.
3. Игнаткин В.У., Крецюк В.В., Кривоцюк В.И. и др. Автоматизация метрологического обслуживания СИ промышленного предприятия. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 208 с.
4. Флорин А.П. Математическая модель эксплуатации измерительной техники с учетом применения обменного фонда // Информационные системы. – Х.: ХВУ, 1994. – Вып. 2. – С. 32 – 36.
5. Швец С.В. Учет полезных результатов и затрат при синтезе систем метрологического обслуживания на основе ИИС // Сборник трудов 1-й военно-научной конференции ХВУ. – Х.: ХВУ, 1996. – С. 127 – 130.
6. Флорин А.П., Яковлев М.Ю. Показатели эффективности системы метрологического обслуживания средств измерительной техники и постановка задач их оптимизации // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 1999. – Вып. 111. – С. 27 – 30.
7. Яковлев М.Ю., Герасимов С.В. Комплексная методика синтеза автоматизированной измерительной системы для метрологического обслуживания контрольно-проверочных комплексов // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2001. – Вып. 1. – С. 10 – 13.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

Поступила 2.04.2003

**ВОЛОБУЕВ Анатолий Петрович**, ассистент кафедры Харьковского военного университета. В 1996 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – теория векторной оптимизации в задачах синтеза систем метрологического обеспечения.

**ЯКОВЛЕВ Максим Юрьевич**, преподаватель кафедры Харьковского военного университета. В 1998 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – математическое моделирование систем метрологического обеспечения.