



УДК 004.942

Я. Н. Гусеница, А. В. Малахов  
Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

У. А. Пестун  
Центральный научно-исследовательский институт  
Министерства обороны Российской Федерации

## Модель динамики парка военной измерительной техники

*Представлена модель динамики парка военной измерительной техники, которая учитывает закономерности изменения количества средств измерений, эксплуатируемых в войсках (силах), находящихся в фонде запаса и обменном фонде метрологических воинских частей и подразделений, а также переданных в ремонт на предприятия оборонно-промышленного комплекса. Основу модели составляет система дифференциальных уравнений. Данная модель может быть использована для определения оптимального соотношения военной измерительной техники. В заключение приведен расчетный пример. Предложено дальнейшее направление развития представленной модели, которое заключается в разработке методов и алгоритмов, позволяющих выработать управляющие воздействия для обеспечения оптимального соотношения военной измерительной техники.*

### Парк военной измерительной техники, средства измерений, обменный фонд и фонд запаса, оптимальное соотношение

Современный этап развития военно-политической обстановки в мире характеризуется острым соперничеством ведущих государств за сферы влияния, источники сырья и рынки сбыта. Данная тенденция уже сейчас определяет серьезные предпосылки для возникновения военных опасностей и угроз для России. Это обуславливает необходимость уделять постоянное внимание вопросам развития технической составляющей Вооруженных Сил Российской Федерации, их оснащению вооружением, военной и специальной техникой в таких количестве и качестве, которые позволяют обеспечить парирование любых военных опасностей и угроз.

Важное место в техническом оснащении отводится метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации, под которым понимается комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой

точности, полноты, своевременности и экономичности измерений в войсках (силах) [1].

Научные основы метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации составляют историческая, теоретическая и военная метрология (рис. 1) [1].

Развитие военной метрологии реализуется Главным научным метрологическим центром и военными учебными заведениями Министерства обороны Российской Федерации при решении многочисленных научных проблем и задач, некоторые из которых представлены в [2]–[14].

Одной из ключевых проблем является проблема оптимального оснащения военной измерительной техникой метрологических воинских частей и подразделений. При этом под военной измерительной техникой понимается совокупность средств измерений (СИ) военного назначения и метрологических комплексов военного назначения, а также используемых при измерениях вспомогательных устройств и оборудования [15].



Рис. 1

Важным условием решения данной проблемы является определение оптимального соотношения военной измерительной техники. Оптимальное соотношение определяется между СИ: 1) эксплуатируемыми в войсках (силах); 2) находящимися в фонде запаса и обменном фонде метрологических воинских частей и подразделений; 3) переданными в ремонт на предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

В данной статье предлагается модель динамики парка СИ, которая позволяет определить оптимальное соотношение военной измерительной техники.

Для определения оптимального соотношения военной измерительной техники необходимо учитывать закономерности изменения количества СИ. Так, например, количество СИ, эксплуатируемых в войсках (силах), может увеличиваться за счет серийных закупок, а также за счет СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде метрологических воинских частей и подразделений, при длительном метрологическом обслуживании эксплуатируемых СИ. Вместе с тем некоторые эксплуатируемые СИ из-за перехода в неработоспособное состояние могут быть переданы на ремонт на предприятия ОПК. Кроме того, СИ, находящиеся в фонде запаса и обменном фонде метрологических воинских частей и подразделений, могут быть переданы на ремонт на предприятия ОПК из-за перехода в неработоспособное состояние, а их количество может увеличиваться за счет серийных закупок.

Перечисленные закономерности учитываются в предлагаемой модели динамики парка СИ. Причем данная модель может применяться отдельно для видов, типов и групп СИ. Основу модели составляет система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - bxy + qxz; \\ \frac{dy}{dt} = -py + cxy + \gamma yz; \\ \frac{dz}{dt} = \mu z - \tau xz - \delta yz, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x$  – количество эксплуатируемых СИ;  $y$  – количество СИ, находящихся на ремонте;  $z$  – количество СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде;  $a$  – коэффициент, характеризующий увеличение эксплуатируемых СИ за счет серийных закупок;  $b$  – коэффициент, характеризующий уменьшение количества эксплуатируемых СИ из-за их перехода в неработоспособное состояние и передачи в ремонт;  $q$  – коэффициент, характеризующий увеличение количества эксплуатируемых СИ за счет СИ фонда запаса и обменного фонда;  $p$  – коэффициент, характеризующий уменьшение количества СИ, находящихся в ремонте;  $c$  – коэффициент выхода эксплуатируемых СИ в ремонт (определяется на основе руководящих документов);  $\gamma$  – коэффициент выхода СИ, находящихся в обменном фонде и фонде запаса, в ремонт (определяется по нормативным документам);  $\mu$  – коэффициент, характеризующий увеличение количества СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде, за счет серийных закупок;  $\tau$  – коэффициент, характеризующий уменьшение количества СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде, из-за длительного изъятия эксплуатируемых СИ на метрологическое обслуживание;  $\delta$  – коэффициент, характеризующий уменьшение количества СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде, из-за перехода их в неработоспособное состояние и передачи в ремонт.

В целом перечисленные коэффициенты рассчитываются на основе статистических данных за рассматриваемый период. При этом в качестве периода могут использоваться сутки, месяц, год.

Коэффициент  $a$  выражается в относительных единицах и может быть получен по формуле

$$a = \frac{A(t+1)}{A(t)},$$

где  $A(t+1)$  – количество закупленных СИ в период  $(t+1)$ ;  $A(t)$  – количество закупленных СИ в период  $t$ .

Коэффициент  $b$  зависит от интенсивности отказов  $\lambda(t)$  эксплуатируемых СИ и может быть получен по формуле

$$b = \frac{t}{\lambda(t)} = \frac{t}{\lim_{N_3 \rightarrow \infty} \frac{N_3(t) - N_3(t+1)}{N_3(t)(t+1)}},$$

где  $N_3(t)$  – количество эксплуатируемых СИ, отказавших в период  $t$ ;  $N_3(t+1)$  – количество эксплуатируемых СИ, отказавших в период  $(t+1)$ .

Коэффициент  $q$  может быть определен по следующей формуле:

$$q = \frac{Q(t+1)}{Q(t)},$$

где  $Q(t+1)$  – количество СИ, поступивших в эксплуатацию из фонда запасов и обменного фонда в период  $(t+1)$ ;  $Q(t)$  – количество СИ, поступивших в эксплуатацию из фонда запасов и обменного фонда в период  $t$ .

Коэффициент  $p$  зависит от интенсивности восстановления  $\beta(t)$  и может быть получен по формуле

$$p = \frac{t}{\beta(t)},$$

где  $\beta(t)$  – среднее значение интенсивности восстановления СИ после отказа, зависящее от производственных возможностей ОПК.

Коэффициент  $\mu$  выражается в относительных единицах и может быть получен по формуле

$$\mu = \frac{M(t+1)}{M(t)},$$

где  $M(t+1)$  – количество закупленных СИ для фонда запаса и обменного фонда в период  $(t+1)$ ;  $M(t)$  – количество закупленных СИ для фонда запаса и обменного фонда в период  $t$ .

Коэффициент  $\tau$  определяется по следующей формуле:

$$\tau = \frac{R(t+1) + P(t+1)}{R(t) + P(t)},$$

где  $R(t+1)$ ,  $R(t)$  – количество эксплуатируемых СИ, неохваченных ремонтом, за периоды  $(t+1)$  и  $t$ ;  $P(t+1)$ ,  $P(t)$  – количество эксплуатируемых СИ, вышедших в безвозвратные потери, за периоды  $(t+1)$  и  $t$ .

Коэффициент  $\delta$  зависит от интенсивности отказов  $v(t)$  эксплуатируемых СИ и может быть получен по формуле

$$\delta = \frac{t}{v(t)} = \frac{t}{\lim_{N_{\text{зап}} \rightarrow \infty} \frac{N_{\text{зап}}(t) - N_{\text{зап}}(t+1)}{N_{\text{зап}}(t)(t+1)}},$$

где  $N_{\text{зап}}$  – количество СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде за период  $t$ ;  $N_{\text{зап}}(t+1)$  – количество СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде за период  $(t+1)$ .

Пусть по результатам предварительных расчетов имеются следующие исходные данные коэффициентов, которые представлены в таблице. Требуется спрогнозировать динамику военной измерительной техники в течение 10 условных периодов.

Приведенные исходные данные характеризуют следующие условия:

1. Эксплуатируемые СИ редко подлежат длительному метрологическому обслуживанию (коэффициент  $q$ ) и имеют низкую надежность (коэффициент  $b$ ). Однако их серийные закупки неритмичны (коэффициент  $a$ ).

2. Несмотря на то что эксплуатируемые СИ часто выходят в ремонт (коэффициент  $c$ ), предприятия ОПК обладают невысокими производственными возможностями по восстановлению неработоспособных СИ (коэффициент  $p$ ). При

| $a$   | $b$   | $q$  | $p$   | $c$   | $\gamma$ | $\mu$ | $\tau$ | $\delta$ |
|-------|-------|------|-------|-------|----------|-------|--------|----------|
| 1.101 | 0.732 | 0.05 | 0.667 | 1.101 | 0.01     | 1.60  | 0.333  | 0.667    |

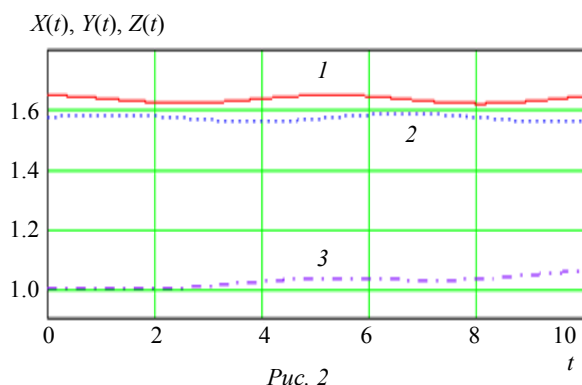


Рис. 2

этом выход в ремонт СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде, является редким.

3. СИ, находящиеся в фонде запаса и обменном фонде, обладают невысокой надежностью (коэффициент  $\delta$ ). Их передача в эксплуатацию осуществляется редко (коэффициент  $\tau$ ), а серийные закупки осуществляются ритмично (коэффициент  $\mu$ ).

Проведем расчеты с использованием программы Mathcad. При моделировании будем использовать шаг приращения 0.1. В результате получим прогнозируемые значения параметров  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , выраженные в относительных единицах (рис. 2:  $X(t)$  – кривая 1;  $Y(t)$  – кривая 2;  $Z(t)$  – кривая 3).

Как видно из рис. 2, при выбранных исходных данных наблюдается значительное количество эксплуатируемых СИ, а также СИ, переданных в ремонт на предприятия ОПК. При этом численные значения перечисленных характеристик практически не изменяются в течение прогнозируемого времени, что характерно при условиях 1 и 2. Для СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде, наблюдается постепенное увеличение, что обусловлено условием 3.

Для определения оптимального соотношения военной измерительной техники необходимо, чтобы выполнялось условие устойчивости системы дифференциальных уравнений (1). Понятие устойчивости широко используется в теории динамических систем для описания равновесия системы при различных управляющих и внешних воздействиях [16].

Применительно к системе дифференциальных уравнений (1) условие устойчивости может быть представлено в виде графика (рис. 3).

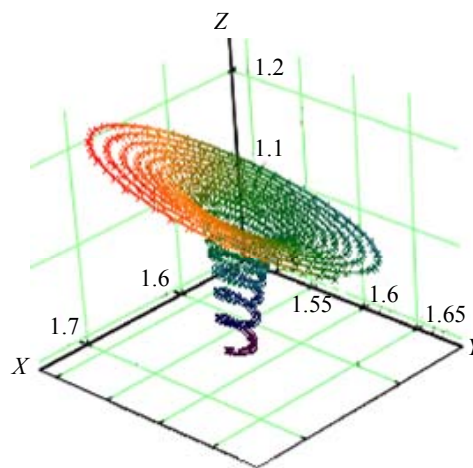


Рис. 3

Для обеспечения устойчивости необходимы управляющие воздействия, количественно выражающиеся через коэффициенты, представленные в таблице. Так, при решении задач определения оптимального количества эксплуатируемых СИ управляющими коэффициентами, реагирующими на изменение, являются  $a$ ,  $b$  и  $q$ . Для определения оптимального количества СИ, находящихся в ремонте, особое внимание уделяется определению коэффициентов  $p$ ,  $c$ ,  $\gamma$ . В случае когда необходимо обосновать количество СИ, находящихся в фонде запаса и обменном фонде, основные усилия исследователей должны быть направлены на определение коэффициентов  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $\delta$ .

Таким образом, разработанная модель динамики парка военной измерительной техники учитывает закономерности изменения количества СИ: эксплуатируемых в войсках (силах), находящихся в фонде запаса и обменном фонде метрологических воинских частей и подразделений, а также, переданных в ремонт на предприятия ОПК. Данная модель может быть использована для определения оптимального соотношения военной измерительной техники.

Дальнейшее направление развития представленной модели заключается в разработке методов и алгоритмов, позволяющих вырабатывать управляющие воздействия для обеспечения оптимального соотношения военной измерительной техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / Я. Н. Гусеница, А. Н. Новиков, А. В. Малахов, С. А. Шерстобитов; под ред. А. Н. Дорохова. СПб.: Изд-во ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. 153 с.

2. Ершов Д. С., Пузанков С. В., Харин В. Н. Методика относительного оценивания качества функционирования метрологических подразделений // Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2013. № 639. С. 34–38.

3. Шерстобитов С. А. Методика формирования требований к системе контроля функционирования автоматизированного рабочего места по поверке средств измерений // Информатика и системы управления. 2017. № 1 (51). С. 95–99.

4. Метод функционально-стоимостного анализа эксплуатации средств измерений, испытания и контроля / Я. Н. Гусеница, С. А. Шерстобитов, О. А. Ширямов, А. В. Малахов // Изв. Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 1 (96). С. 67–72.

5. Гусеница Я. Н., Шерстобитов С. А., Малахов А. В. Метод обоснования межповерочных интервалов средств измерений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Спец. вып. 51. С. 44–48.

6. Гусеница Я. Н., Новиков А. Н. Методика обеспечения достоверности результатов метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники // Информация и космос. 2017. № 2 (7). С. 154–159.

7. Оценивание влияния точности определения значений границ контрольных допусков на качество функционирования оборудования непрерывного применения / В. Л. Гузенко, А. Н. Миронов, Е. А. Миронов, О. Л. Шестопалова // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5–2. С. 232–238.

8. Гусеница Я. Н., Шерстобитов С. А., Малахов А. В. Научно-методический аппарат обоснования межповерочных интервалов средств измерений // Вестн. СибГУТИ. 2017. № 1 (37). С. 40–46.

9. Малахов А. В. Методика обоснования рационального технического облика мобильных метрологических комплексов // Изв. Тульского гос. ун-та. Техн. науки. 2016. Вып. 4. С. 225–233.

10. Малахов А. В., Епишин К. В. Методика расчета производительности мобильных метрологических

комплексов // Сб. науч.-метод. тр. I Всероссийской науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники противовоздушной и противоракетной обороны, Космических войск Воздушно-космических сил». М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. С. 117–125.

11. Малахов А. В., Гусеница Я. Н. Имитационное моделирование реконфигурируемых метрологических комплексов // Сб. науч.-метод. тр. I Всероссийской науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники противовоздушной и противоракетной обороны, Космических войск Воздушно-космических сил». М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. С. 102–116.

12. Миронов А., Пальгунов В., Ковальский А. Математическая модель достижения предельного состояния антенных систем наземных станций измерительного комплекса космодрома «Плесецк» // Изв. Ин-та инженерной физики. 2016. Т. 1, № 39. С. 31–36.

13. Новиков А. Н. Алгоритм индивидуального прогнозирования предельных экономически целесообразных сроков эксплуатации измерительных комплексов // Вестн. СибГУТИ. 2016. № 4 (36). С. 19–24.

14. Новиков А. Н., Пузанков С. В. Задание границ области дрейфа метрологических характеристик бортовых измерительных систем космических аппаратов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8, № 2. С. 26–31.

15. Информационные технологии в области метрологического обеспечения вооружения и военной техники: уч. пособие / Я. Н. Гусеница, А. Н. Новиков, С. А. Шерстобитов, А. В. Малахов. СПб.: Изд-во ВКА им. А. Ф. Можайского, 2017. 171 с.

16. Юмагулов М. Г. Введение в теорию динамических систем: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2015. 272 с.

---

Ya. N. Gusenitsa, A. V. Malakhov  
*Mozhaisky Military Space Academy*

U. A. Pestun  
*Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation*

## MODEL OF THE DYNAMICS OF THE FLEET OF MILITARY MEASURING EQUIPMENT

*Presents the model of the dynamics of the military measurement equipment fleet, which takes into account the regularities of the change in the number of measuring instruments used by the troops (forces), the measuring instruments in the stock fund and the exchange fund of metrological military units and subunits, and the number of measuring instruments, transferred for repair to enterprises of the defense industry complex. The model is a system of differential equation. This model can be used to determine the optimal ratio of military measurement equipment. The conclusion is a calculated example. The further development of the presented model is offered. It consist in the development of methods and algorithms that allow us to produce a control action to find optimal balance of military measurement equipment.*

**The park of military measuring equipment, measuring instruments, exchange fund and stock fund, optimal balance**

---