

УДК 78.21.35

Я. Н. Гусеница

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

Метод структурно-функционального синтеза военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения)

Представлен метод структурно-функционального синтеза военной измерительной техники. Предлагаемый метод базируется на принципе целостности системы, который предполагает взаимную трансформацию свойств системы и свойств ее действия при фиксированном предназначении. Применение принципа целостности позволяет формализовать свойства военной измерительной техники через технический облик, свойства действия через план аттестационных, поверочных и ремонтных работ, предназначение военной измерительной техники через показатель эффективности применения. В результате разработанный метод позволяет по требуемому значению показателя эффективности применения и заданным ограничениям определить как оптимальный технический облик военной измерительной техники, так и оптимальный план аттестационных, поверочных и ремонтных работ.

Военная измерительная техника, метрологическое обеспечение, технический облик, план, показатель эффективности, структурно-функциональный синтез

В настоящее время одним из ключевых направлений развития государства в целом и Вооруженных Сил Российской Федерации в частности является повышение эффективности управления своими силами и средствами. Это объясняет наличие многочисленных опытно-конструкторских работ по совершенствованию существующих и созданию новых автоматизированных систем (АС).

Современный этап развития Вооруженных Сил Российской Федерации характеризуется значительным удорожанием и усложнением разрабатываемого и модернизируемого вооружения, военной и специальной техники, а значит, внушительным увеличением у него количества параметров, которые необходимо контролировать при разработке, испытании и эксплуатации. Это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению средств измерений, используемых в войсках (силах) [1].

Необходимым условием эксплуатации средств измерений в войсках (силах) является обеспечение единства и требуемой точности, полноты, своевременности и оперативности измерений. С этой целью в рамках метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации проводится метрологическое обслуживание средств измерений, которое представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых с целью поддержания метро-

логических характеристик средств измерений в установленных пределах в течение заданного интервала времени. К ним относятся прежде всего аттестация и ремонт эталонов, а также поверка и ремонт средств измерений [2].

Метрологическое обслуживание средств измерений осуществляется по территориальному принципу. Данный принцип предполагает, что конкретная метрологическая воинская часть (подразделение) отвечает за организацию аттестационных, поверочных и ремонтных работ в отношении всех воинских частей (подразделений), находящихся в зоне ее ответственности.

Материальную основу любой метрологической воинской части (подразделения) составляет военная измерительная техника, технический облик которой определяется совокупностью функционально связанных рабочих мест, оснащенных рабочими эталонами, рабочими средствами измерений, средствами вычислительной техники, вспомогательными устройствами и оборудованием. Применение военной измерительной техники осуществляется на основе планирования аттестационных, поверочных и ремонтных работ, которые могут проходить как в местах дислокации метрологической воинской части (подразделения), так и в местах дислокации воинских частей (подразделений), находящихся в зоне ее ответ-

ственности. Эффективность применения военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения) определяется полнотой охвата метрологическим обслуживанием средств измерений всех воинских частей (подразделений), находящихся в зоне ее ответственности.

Вместе с тем увеличение объема аттестационных, поверочных и ремонтных работ в условиях ресурсных ограничений приводит к невозможности эксплуатируемой военной измерительной техники обеспечить требования по полноте охвата метрологическим обслуживанием средств измерений всех воинских частей (подразделений), находящихся в зоне ответственности метрологических воинских частей и подразделений.

В данной статье предлагается метод структурно-функционального синтеза военной измерительной техники, позволяющий по требуемому значению показателя эффективности применения и заданных ограничений определить как оптимальный технический облик военной измерительной техники, так и оптимальный план аттестационных, поверочных и ремонтных работ.

Предлагаемый метод базируется на принципе целостности системы. Данный принцип предполагает взаимную трансформацию свойств системы и свойств ее действия при фиксированном предназначении. При этом подразумевается, что изменение предназначения происходит в случае количественного изменения характеристик свойств системы и ее движения, приводящего к качественному изменению системы и соответствующего ей движения [3].

В такой формулировке применение принципа целостности позволяет формализовать свойства военной измерительной техники через технический облик, свойства действия через план аттестационных, поверочных и ремонтных работ, предназначение военной измерительной техники через показатель эффективности применения:

$$I = \int_Q \Phi(v(r), u(r)) dr = \int_Q \varphi(r) dr, \quad (1)$$

где $r \in R$ – пространственно-временное состояние военно-измерительной техники из множества $R = X \times T$, представляющее собой состояние военно-измерительной техники $x \in X$ (X – множества допустимых состояний военно-измерительной техники) в момент времени $t \in T$ (T – допустимая продолжительность применения военно-измерительной техники); $v(r)$ – вектор характеристик военной измерительной техники; $u(r)$ – вектор управления военной измерительной

техникой; $\varphi(r) = \Phi(v(r), u(r))$ – модель технического облика военной измерительной техники, определяющая показатель производительности военной измерительной техники; $Q \subseteq R$ – модель применения военно-измерительной техники, представляющая собой множество требуемых пространственно-временных состояний системы, на котором она решает целевую задачу; I – модель предназначения системы, представляющая собой показатель требуемой эффективности применения военной измерительной техники.

В [3] выражение (1) называется уравнением синтеза с двумя неизвестными Q и $\varphi(r)$. Это уравнение формализует принцип целостности, из которого следует, что для структурно-функционального синтеза военно-измерительной техники метрологической воинской части (подразделения), обладающей требуемым значением показателя эффективности I , необходимо и достаточно задать $Q \subseteq R$ и $\varphi(r)$, удовлетворяющих условию (1).

Для определения $Q \subseteq R$ и $\varphi(r)$, удовлетворяющих условию (1), необходимо выполнить следующие шаги.

1. Формирование конечного множества Y вариантов технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения).

Необходимым условием решения этой задачи является вычисление значений параметров вектора характеристик $v(r, y)$ и вектора управления $u(r, y)$ каждого варианта $y \in Y$ технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения).

Значения параметров вектора характеристик $v(r, y)$ определяются с учетом особенностей состава варианта y технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения). Здесь вычисляются метрологические и эксплуатационно-технические характеристики на основе показателей структуры и функциональных показателей качества военной измерительной техники [1]. При этом расчеты должны учитывать особенности надежности как технических средств [4], так и программного обеспечения военной измерительной техники [5], [6].

В свою очередь, как отмечено в [7], параметры вектора управления $u(r, y)$ каждого варианта y технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения) целесообразно определить через по-

казатели ресурсоемкости. Данные показатели предназначены для количественного описания расхода всех видов ресурсов (временных, материальных, энергетических, информационных, людских, финансовых и т. п.), потребных для применения военной измерительной техники [8]. В качестве таких показателей используются показатели энергоемкости применения, трудоемкости применения, показатели людских ресурсов и т. д. [1]. Для их вычисления используют различные аналитические методы и модели. Пример использования одного из таких методов для расчета финансовых затрат на эксплуатацию военной измерительной техники представлен в [9].

При наличии конкретных значений параметров вектора характеристик $v(r, y)$ и вектора управления $u(r, y)$ необходимо применять различные методы оптимизации, позволяющие сократить множество вариантов технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения) с учетом ограничений на вектор характеристик $v(r, y) \in V$ и вектор управления $u(r, y) \in U$. При этом V и U представляют собой векторы допустимых значений векторов характеристик и управления.

2. Определение для каждого варианта y технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения) показателя производительности $\varphi(r, y)$.

Показатель производительности военной измерительной техники представляет собой вектор, параметрами которого являются показатели производительности входящих в него рабочих мест по поверке (ремонту) средств измерений. В роли показателя производительности рабочего места по поверке (ремонту) средств измерений выступает среднее количество средств измерений конкретного вида (типа, группы), которые можно поверить (отремонтировать).

Значение показателя производительности рабочего места по поверке (ремонту) средств измерений зависит от многих факторов, самым важным из которых является уровень автоматизации рабочего места по поверке (ремонту) средств измерений. Вместе с тем определить по формуле уровень автоматизации, как это представлено в ГОСТ В 29.08.002–84, не представляется возможным. Данная тенденция объясняется тем, что его значение зависит не только от конструктивных особенностей рабочего места, но и поверяемых (ремонтируемых) средств измерений, наличия или отсутствия у них стандартных интерфейсов, программного обеспечения, значений пределов и

классов точности, количества определяемых метрологических характеристик. Поэтому для его расчета используются методы, пригодные для решения плохо структурированных задач в условиях наличия неопределенности.

Примеры решения задачи определения показателя производительности военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения) на основе теории нечетких множеств представлены в [1], [10].

3. Формализация допустимого множества значений пространственно-временных состояний R .

Данная задача решается на основе представления заявок на метрологическое обслуживание в виде декартова произведения $X \times T$. При этом вектор X включает параметры, характеризующие количество средств измерений по воинским частям (подразделениям), местоположению, особенностям метрологического обслуживания (с демонтажем или без демонтажа), видам (типам, группам), метрологическим характеристикам и т. д., которое необходимо поверить (отремонтировать) метрологической воинской частью (подразделением). В свою очередь, вектор T включает параметры, характеризующие моменты времени, в которые необходимо провести метрологическое обслуживание вышеперечисленных средств измерений.

4. Формирование конечного множества Z вариантов плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ. Каждый вариант $z \in Z$ представляет собой множество $R(z) \subseteq R$ и получается следующим образом.

В качестве первого варианта плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ берется множество допустимых пространственно-временных состояний R . Очередной вариант получается из предыдущего путем уменьшения моментов времени, в которые необходимо провести метрологическое обслуживание M средств измерений по конкретным воинским частям (подразделениям), местоположению, особенностям метрологического обслуживания (с демонтажем или без демонтажа), видам (типам, группам), метрологическим характеристикам и т. д.

5. Моделирование для каждого z варианта плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ процесса поступления средств измерений на метрологическое обслуживание.

При наличии априорной информации за несколько лет данная задача может быть решена на основе методов прогнозирования, как это показано в [11]. Однако зачастую такая информация для

всех метрологических воинских частей (подразделений) отсутствует. Кроме того, методы прогнозирования не позволят построить модели для каждого z варианта плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ. По этой же причине нецелесообразно использовать аналитические модели теории массового обслуживания.

В целом использование методов аналитического моделирования затрудняется рядом причин.

Во-первых, процесс поступления средств измерений на метрологическое обслуживание описывается в виде двух потоков заявок. Первый поток заявок моделирует процесс поступления на метрологическое обслуживание средств измерений с возможностью их демонтажа, второй – без такой возможности. При этом оба потока заявок являются неоднородными, поскольку учитывают в зависимости от детализации моделирования виды (типы, группы) средств измерений, их метрологические характеристики и т. д.

Во-вторых, при описании каждого потока заявок должна учитываться неопределенность информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание. Такая неопределенность обусловлена территориальным распределением воинских частей (подразделений), эксплуатирующих средства измерений, а также отсутствием данных о конкретных днях представления средств измерений воинскими частями (подразделениями) на метрологическое обслуживание.

В такой ситуации приходится прибегать к использованию имитационного моделирования, а также различным методам экспертного оценивания и искусственного интеллекта.

Примеры задачи описания процесса поступления средств измерений на метрологическое обслуживание на основе имитационного моделирования представлены в [12], [13].

6. Определение для каждого варианта u технического облика военной измерительной техники метрологической воинской части (подразделения) и каждого z варианта плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ полноты охвата W метрологическим обслуживанием средств измерений. Показатель может быть определен как

$$W = \frac{N}{N_{\text{тр}}},$$

где N – количество обслуженных средств измерений; $N_{\text{тр}}$ – количество средств измерений, которые требуется обслужить.

В то же время в [8] показателем эффективности рекомендуется выбирать вероятность выпол-

нения задачи. Поэтому в качестве показателя полноты охвата W метрологическим обслуживанием средств измерений следует применять вероятность метрологического обслуживания средств измерений.

Одним из возможных путей получения вероятности метрологического обслуживания средств измерений является построение моделей нестационарных систем с произвольными распределениями моментов времени поступления заявок и длительностей их обслуживания, как это показано в [14]–[16].

Однако использование данных моделей при вычислении вероятности метрологического обслуживания средств измерений является достаточно нетривиальной задачей. Во-первых, W должен рассчитываться для всех вариантов технического облика военной измерительной техники и всех вариантов плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ. Во-вторых, в некоторых из вариантов технического облика необходимо учитывать возможность его реконфигурации путем замены одних рабочих мест по поверке (ремонту) средств измерений на другие.

В такой ситуации приходится прибегать к использованию имитационного моделирования, как это представлено в [12], [13]. Вместе с тем необходимым условием использования имитационного моделирования является создание базы данных для хранения исходных данных, промежуточных и конечных результатов [17], а также компьютерная реализация имитационной модели [18].

В качестве преодоления сложности имитационного моделирования дополнительно могут использоваться искусственные нейронные сети, эволюционные и мягкие вычисления. Кроме того, хорошим средством уменьшения использования имитационных моделей может стать интегральное уравнение Винера–Хопфа, описывающее связи между входными и выходными параметрами. Для его решения может применяться метод, представленный в [19].

7. Выбор оптимального варианта технического облика военной измерительной техники и оптимального плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ. Задача решается с использованием следующего критерия оптимальности:

$$g^* = \arg \max_{g \in G} I(g), \quad (2)$$

где $g = \{Q(z), \Phi(v(r, y), u(r, y))\}$ – векторный аргумент;

$$G = \left\{ Y \times Z \mid Q(z) \subseteq R, \int_{Q(z)} \Phi(v(r, y), u(r, y)) dr \geq I, \right. \\ \left. v(r, y) \in V, u(r, y) \in U, y \in Y, z \in Z \right\}$$

– декартово произведение множества вариантов технического облика военной измерительной техники и множества вариантов плана аттестационных, поверочных и ремонтных работ с учетом ограничений.

Выражение (2) позволяет обеспечить структурно-функциональный синтез военно-измерительной техники произвольной метрологической

воинской части (подразделения). При этом вычислительная сложность решения оптимизационной задачи будет зависеть от выбора конкретного метода оптимизации.

Таким образом, предлагаемый метод структурно-функционального синтеза военной измерительной техники позволяет по требуемому значению показателя эффективности применения и заданных ограничений определить как оптимальный технический облик военной измерительной техники, так и оптимальный план аттестационных, поверочных и ремонтных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. 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.

3. Бурлов В. Г. Основы моделирования социально-экономических и политических процессов (Методология. Методы). СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. 265 с.

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

5. Гусеница Я. Н., Кругляк Ю. Л., Петрич Д. О. О некоторых особенностях надежности программно-обеспеченных автоматизированных систем управления войсками // Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2013. № 638. С. 31–36.

6. Гусеница Я. Н. Обобщенная модель потока разнотипных программных ошибок для оценивания надежности программного обеспечения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7, № 5. С. 18–23.

7. Резников Б. А. Системный анализ и методы системотехники. Ч. 1: Методология системных исследований. Моделирование сложных систем: учеб. / МО СССР. М., 1990. 522 с.

8. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.

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

10. Малахов А. В., Миронов Е. А. Расчет производительности мобильных метрологических комплексов в условиях неопределенности исходных данных с

использованием нечеткого моделирования // Фундаментальные исследования. 2017. № 7. С. 49–53.

11. Малахов А. В. К вопросу о прогнозировании поступления средств измерений на метрологическое обслуживание с применением мобильных метрологических комплексов // Сб. науч.-метод. тр. I Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники противовоздушной и противоракетной обороны, Космических войск Воздушно-космических сил». М.: Изд-во Военно-воздушной инженерной академии им. Н. Е. Жуковского, 2016. С. 126–130.

12. Гусеница Я. Н., Малахов А. В. Имитационная модель функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание // Ученые зап. Космического-на-Амуре гос. техн. ун-та. 2016. Т. 1, № 3 (27). С. 32–46.

13. Малахов А. В., Гусеница Я. Н. Имитационное моделирование реконфигурируемых метрологических комплексов // Сб. науч.-метод. тр. I Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники противовоздушной и противоракетной обороны, Космических войск Воздушно-космических сил». М.: Изд-во Военно-воздушной инженерной академии им. Н. Е. Жуковского, 2016. С. 102–116.

14. Гусеница Я. Н., Новиков А. Н. Принцип баланса «комплексных вероятностей» при моделировании нестационарных систем обслуживания, представленных циклическим графом состояний // Информация и космос. 2016. № 3(6). С. 70–73.

15. Смагин В. А., Гусеница Я. Н. К вопросу моделирования одноканальных нестационарных систем с произвольными распределениями моментов времени поступления заявок и длительностей их обслуживания // Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2015. № 649. С. 56–63.

16. Смагин В. А., Гусеница Я. Н. Моделирование одноканальных нестационарных систем обслуживания, представленных циклическим графом состояний

// Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 10. С. 801–806.

17. Гусеница Я. Н., Малахов А. В., Шерстобитов С. А. Свид. о гос. регистрации базы данных № 201620310. База данных для моделирования процесса функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание / дата поступления 24.03.2016 г., дата регистрации в Реестре баз данных 13.05.2016 г.

18. Гусеница Я. Н., Малахов А. В., Шерстобитов С. А. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ №

016615111. Компьютерная модель функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание / дата поступления 24.03.2016 г., дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 16.05.2016 г.

19. Смагин В. А., Гусеница Я. Н. Метод решения интегрального уравнения Винера-Хопфа при гладких распределениях вероятностей составляющих его компонент // Ученые зап. Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. 2016. Т. 1, № 4 (28). С. 16–25.

Ya. N. Gusenitsa
Mozhaisky Military Space Academy

METHOD OF STRUCTURAL-FUNCTIONAL SYNTHESIS OF MILITARY MEASURING TECHNIQUE OF THE METROLOGICAL MILITARY PART (DIVISION)

Is the method of structural-functional synthesis of military measuring equipment. This method is based on the principle of maintaining the integrity of the system, which involves a mutual transformation of the properties of the system and the properties of its operation for a fixed purpose. The application of the principle of integrity allows us to formalize the properties of the military measuring equipment through technical appearance, the properties of its operation through plan for calibration and repair work, the purpose of military measuring equipment through indicator efficiency. As a result, the method allows for the required value of the application efficiency index and given constraints to determine both the optimal technical appearance of military measuring equipment and the optimal for calibration and repair work.

Military measuring equipment, metrological maintenance, technical appearance, plan, indicator efficiency, structural-functional synthesis

УДК 621.38

А. С. Топорская, Е. С. Сулоева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Разработка схемы устройства измерения емкости Li-Ion-аккумуляторов на основе отладочной платы Arduino Uno

Разработана схема устройства измерения емкости пальчиковых аккумуляторов Li-Ion. Основным элементом схемы является отладочная плата Arduino Uno. Исследуются строение, возможности, принципы работы этой платы. Подбирается элементная база для реализации схемы устройства, проводится распиновка и как итог работы получена схема устройства. Схема собрана и протестирована в программном обеспечении NI Multisim, проведен виртуальный эксперимент. В результате эксперимента получена выборка значений, для которых рассчитаны метрологические характеристики (абсолютная погрешность, относительная погрешность). Представлены этапы дальнейшей работы над данным проектом, результатом которого предполагается один экземпляр устройства в рабочей спаянной сборке. Прослеживается развитие темы создания простых устройств в рамках подготовки бакалавров по приборостроению. Используется широкий спектр дисциплин из курса подготовки бакалавров по направлению 12.03.01 «Приборостроение»: «Элементная база электроники», «Метрология», «Электроника в измерительных устройствах», «Цифровые измерительные устройства».

Li-Ion-аккумулятор, Arduino Uno, ПИН, ЖК-дисплей

Li-Ion-аккумуляторы используются повсеместно в таких устройствах как телефоны, смартфоны, ноутбуки и т. п. Li-Ion-аккумулятор

состоит из электродов. Электроды представляют собой алюминиевую фольгу с катодным материалом на ней и медную с анодным. Они разделены
