

УДК 621.389

А.Е. Мельниченко

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

## ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЙСКОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*В статье приведена полумарковская модель войсковых средств измерительной техники, разработанная на основе метода промежуточных контрольных проверок, которые позволяют в течение межповерочного интервала определять их реальное текущее метрологическое состояние. В модели наиболее полно учтена, по сравнению с известными моделями, специфика эксплуатации, метрологического обслуживания и ремонта войсковых средств измерительной техники.*

**войсковые средства измерительной техники, модель, метрологическое обслуживание**

### Введение

**Постановка проблемы.** Точность и достоверность измерительной информации о техническом состоянии образца вооружения и военной техники (ВВТ) (о действительном значении его параметров и характеристик) непосредственным образом влияют на эффективность его применения по назначению [1]. Поэтому система метрологического обслуживания (МЛО) войсковых средств измерительной техники (ВСИТ), входящих в комплект данного образца ВВТ, должна быть организована таким образом, что бы обеспечить требуемый уровень их метрологической надежности [2].

В свою очередь, эффективное планирование и организация МЛО ВСИТ в местах их непосредственной эксплуатации (в войсковых частях) возможны лишь на основе адекватного моделирования рассматриваемого процесса, с максимальным учетом всех его особенностей, что, в свою очередь, позволяет использовать для расчета искомых временных и вероятностных показателей математический аппарат Марковских процессов [3].

**Анализ литературы.** Разработке различных моделей эксплуатации средств измерительной техники (СИТ) посвящено большое количество научных работ [4]. Анализ этих моделей показывает, что они не могут быть использованы для описания процесса эксплуатации именно войсковых СИТ [5]. Некоторые из моделей не в полной мере отображают все значимые (по временному показателю или показателю метрологической надежности) состояния СИТ. Математическая формализация практически всех рассмотренных моделей предусматривает наличие большого объема статистической информации о техническом состоянии, что в настоящее время нереализуемо для ВСИТ. При этом ни одна из известных ранее моделей не позволяла определять, а, следовательно, и учитывать, реальное текущее метрологическое состояние ВСИТ, объективно изменяющееся течение их межповерочного интервала

(МПИ). Для решения этой научной задачи авторами [6] был предложен метод, основанный на проведении промежуточных контрольных проверок (ПКП) ВСИТ, которые проводятся в промежутках между очередными поверками. С помощью ПКП создается информационная избыточность, которая позволяет повысить надежность как каждого отдельного ВСИТ, входящего в комплект соответствующего образца ВВТ, так и образца ВВТ в целом. Проведение ПКП позволяет осуществить диагностику метрологического отказа ВСИТ, и тем самым значимо повысить вероятность его безотказной работы, что ранее было возможно только при проведении очередной поверки. Причем ПКП проводятся на месте эксплуатации ВСИТ, без демонтажа их с образца ВВТ, что значительно увеличивает коэффициент готовности ВСИТ, а значит и самого образца ВВТ, при этом проведение ПКП не требует привлечения специалистов МЧП вышестоящего уровня.

**Цель статьи** заключается в разработке модели, адекватной основным особенностям процесса эксплуатации, МЛО и ремонта ВСИТ и позволяющей организовывать очередное МЛО ВСИТ с учетом его реального текущего метрологического состояния.

### Основная часть

Действующей в настоящее время в Вооруженных Силах Украины принцип организации МЛО и ремонта ВСИТ отражен на модели эксплуатации ВСИТ, представленной на рис. 1.

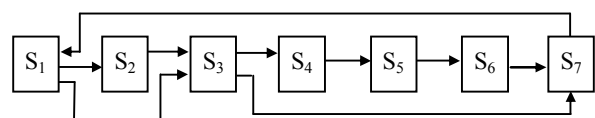


Рис. 1. Упрощенная модель эксплуатации

Данная модель отражает потоки событий, переводящие модель из одного состояния в другое, но при этом учитывает лишь основные этапы эксплуатации ВСИТ. Данные состояния являются укруп-

ненными, включающие в себя другие – “предыстории”, которые по каким-либо причинам не рассматривались в предыдущих этапах исследования. Включение предысторий в основные события, является классическим правилом цепей Маркова, которое позволяет представлять эти потоки ординарными, без последствия, а, следовательно, считать их пуассоновскими.

Таким образом, приведенная на рис.1 модель эксплуатации ВСИТ представляет собой типичную марковскую модель. Однако анализ содержания и особенностей проведения МОБ ВСИТ говорит о том, что марковские модели имеют ряд недостатков, которые не позволяют учесть все особенности эксплуатации ВСИТ, которые приобретают существенное значение при планировании МОБ ВСИТ на высших метрологических уровнях.

Основными состояниями ВСИТ в данной модели являются:  $S_1$  – ВСИТ исправно, находится в эксплуатации;  $S_2$  – неработоспособное ВСИТ в следствие отказа, произошедшего до окончания МПИ;  $S_3$  – ВСИТ находится на МЛО (очередная поверка или калибровка);  $S_4$  – ВСИТ признано негодным по результатам очередной поверки;  $S_5$  – восстановление работоспособного состояния (ремонт) ВСИТ по результатам его очередной поверки;  $S_6$  – обязательная поверка ВСИТ после ремонта;  $S_7$  – ВСИТ признано годным по результатам обязательная поверки.

При этом, в ходе поверки, ВСИТ может быть признано негодным как по результатам внешнего осмотра, так и проверки работоспособности, а также по результатам определения действительных значений метрологических характеристик (МХ) ВСИТ. Таким образом, в данной модели отказ ВСИТ рассматривается как “общий” – эксплуатационный (без разделения на явные и скрытые метрологические отказы) – с допущением об экспоненциальном характере интенсивности моментов их наступления [7]. На основе этой (упрощенной) модели модель эксплуатации ВСИТ разработчиком ВСИТ и устанавливается периодичность его МЛО, при этом длительность первичного МПИ, как правило, остается неизменной в течение всего срока эксплуатации ВСИТ.

Однако анализ особенностей (нестабильности) МХ ВСИТ, обязывает говорить о необходимости, в ходе планирования МЛО ВСИТ, обязательного учета дрейфа МХ ВСИТ – процессе, объективно и постоянно происходящем в ВСИТ, независимо от режимов их эксплуатации, начиная с момента выпуска средств измерительной техники из производства. Данное явление представляет собой случайный нестационарный процесс с монотонно изменяющимися во времени математическим ожиданием и дисперсией основной нормированной погрешности средства измерительной техники [8]. Следствием данного процесса и является наступление метрологических отказов ВСИТ, а их скрытый характер представляет особую опасность, так как ВСИТ, входящие в состав образца ВВТ, с наличием таких отказов резко снижают эф-

фективность его применения, а в принципе, делают его неспособным выполнить боевую задачу. Поэтому при построении модели эксплуатации ВСИТ необходимо отдельно учитывать вероятности наступления явных, и отдельно метрологических (скрытых) отказов. Причем если для потока явных отказов ВСИТ приемлем экспоненциальный закон распределения, то поток метрологических отказов более корректно описывается законом Вейбула [9].

Следует также учесть, что существенное влияние на результат МЛО ВСИТ, может оказать человеческий фактор, проявляющийся в ошибках первого и второго рода ( $\alpha$  и  $\beta$ ). Следствием этих ошибок является допуск к дальнейшей эксплуатации из всей совокупности поверенных ВСИТ некоторой части метрологически неисправных, и забракование некоторой части метрологически исправных ВСИТ, с дальнейшим направлением их на ложный ремонт.

Более того, анализ механизма и времени перехода ВСИТ в такие состояния как “поверка” и “ремонт” (восстановление) дает основание говорить о необходимости обязательного учета таких состояний как “ожидание поверки” и “ожидание ремонта”. Поясним важность этого замечания. Если длительность самой поверки (ремонта) ВСИТ составляет несколько часов, то время “ожидания” поверки (или ремонта), т.е. время с момента изъятия из эксплуатации неисправного ВСИТ и пребывания в поверочном органе до его поступления после ремонта на рабочее место может достигать от нескольких недель до нескольких месяцев. Очевидно, что длительность этого временного интервала настолько существенна, что собственно она и определяет (уменьшает) коэффициент использования соответствующего ВСИТ (а в некоторых случаях и коэффициент готовности образца ВВТ, в состав которых входят данное ВСИТ), а потому имеет более чем достаточное основание быть учтенным в модели эксплуатации ВСИТ.

В известных моделях эксплуатации ВСИТ не учтено такое существенное состояние, как восстановление ВСИТ на ремонтном предприятии Министерства обороны (РПМО) Украины. Как правило, это состояние учитывается лишь для образцов ВВТ. Но, как показывает практика МЛО ВСИТ, 30-40% из 100% забракованных требуют капитального ремонта, и, соответственно, отправляются на РПМО. Длительность пребывания ВСИТ в этом состоянии еще больше, нежели в состоянии ремонта в метрологической части или подразделении (МЧП). Так, если время пребывания ВСИТ непосредственно в капитальном ремонте может составлять временной интервал от несколько дней до нескольких недель, то время с момента отправки ВСИТ на РПМО до возвращения с него – несколько месяцев.

Еще одним недостатком известных моделей эксплуатации ВСИТ является то, что МЛО (поверка, а также текущий и средний ремонт) ВСИТ рассматриваются как таковое, что проводятся только в од-

ном метрологическом органе и на одном иерархическом уровне, что не отвечает действительности. Это, в свою очередь, приводит к определению неверных расчетных показателей времени пребывания ВСИТ в МлО. В действительности все ВСИТ, подлежащие МлО, поверяются (ремонтируются) либо в метрологическом подразделении войсковой части (МПВЧ), либо МЧП высшего уровня. И как было указано в отношении капитального ремонта ВСИТ, добавляется еще уровень иерархии – ремонт ВСИТ в РПМО. Эти особенности МлО и ремонта ВСИТ так же были учтены в ниже предложенной модели эксплуатации ВСИТ введением соответствующих состояний, которые ранее не рассматривались в других моделях.

И, наконец, общим объективным недостатком практически всех рассмотренных автором моделей эксплуатации средств измерительной техники является их статический характер. Данное свойство справедливо лишь для единичного ВСИТ. Если же речь идет о совокупности однотипных ВСИТ, из которых можно формировать однородную по надежности выборку (для получения соответствующих статистических данных), то модель эксплуатации такой совокупности ВСИТ принимает динамический характер. Такая модель позволяет получить вероятностные и временные показатели перехода ВСИТ в так называемое "поглощенное" – невозстанавливаемое состояние. Такая совокупность (количество) ВСИТ априори непостоянна и определяется количеством введенных в эксплуатацию и списанных с эксплуатации ВСИТ. Эти данные особенно важны при долгосрочном планировании МлО ВСИТ и метрологическом обеспечении ВВТ.

На основе вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что модель эксплуатации ВСИТ, приведенная на рис. 1, является упрощенной, а потому не в полной мере учитывает все особенности, характерные для эксплуатации ВСИТ, связанные с его МлО, восстановлением, учетом различности законов распределения эксплуатационных и метрологических отказов ВСИТ, учетом изменения текущего метрологического состояния ВСИТ между его очередными поверками, оценки достоверности результатов МлО ВСИТ. Поэтому автором предлагается полумарковская модель эксплуатации ВСИТ, позволяющая учесть эти особенности и реализовать эффективный, принципиально новый – индивидуальный подход к МлО ВСИТ (на основе метода ПКП), который в свою очередь позволяет оптимизировать МПИ ВСИТ с учетом его влияния на образец ВВТ [10]. Данная модель, в виде направленного графа перехода ВСИТ в различные состояния, представлена на рис. 2. Для наглядности в модели штрихпунктирной линией выделены блоки, отражающие возможное техническое состояние ВСИТ, процесс диагностики ВСИТ, возможные результаты решения о техническом состоянии ВСИТ, процесс МлО и восстановления ВСИТ, а также МлО ВСИТ после восстановления, отдельно приведено невозстанавливаемое со-

стояние, в которое, в конечном итоге, переходит каждое ВСИТ.

При синтезе этой модели учтем следующие допущения:

- так как поступление новых ВСИТ в войсковые части и подразделенная в настоящее время (в силу недофинансирования Вооруженных Сил Украины) крайне мало, в то время как списание ВСИТ – объективный факт, то для учета динамики перехода ВСИТ в поглощаемое состояние в модели эксплуатации будем учитывать только перевод ВСИТ в 5-ю категорию (списание), т.е. состоянием ввода ВСИТ в эксплуатацию ( $S_0$ ) пренебрежем;

- так как процесс самовосстановления ВСИТ из метрологического отказа в исправное состояние в настоящее время мало изучен, и его формализация не представляется возможной, то переход из состояния  $S_3$  в состояние  $S_1$  в предлагаемой модели не рассматривается;

- так как явный отказ ВСИТ (состояние  $S_2$ ) практически сразу обнаруживается в ходе проверки функционирования ВСИТ (состояние  $S_3$ ), после чего оно сразу изымается из эксплуатации (состояние  $S_4$ ), то можно говорить о не влиянии на образец ВВТ наступления после явного еще и метрологического отказа ВСИТ, если таковой наступит. Он будет обнаружен в ходе внеочередной поверки неисправного (проводимой по результатам проверки функционирования) ВСИТ. Поэтому переход ВСИТ из состояния  $S_2$  в состояние  $S_3$  в предлагаемой модели не рассматривается;

- в настоящее время учесть достоверность поверки при существующей практике МлО ВСИТ не представляется возможным. В то же время метод корректировки МПИ ВСИТ на основе ПКП позволяет учитывать ошибки первого и второго рода и далее корректировать периодичность МлО по результатам ПКП и периодической поверки, выступающей в данном методе в качестве достоверного эксперимента. Поэтому состояния "необнаруженного метрологического отказа", "обнаруженного метрологического отказа" и "ложного отказа" в новой модели будем рассматривать не по результатам поверки, а по результатам ПКП;

- так как операция "проверка функционирования", как вид ТО (КО), существует и проводится независимо от ТО-2, то ее проведение, при наступлении срока очередной поверки, будем рассматривать как самостоятельную операцию диагностики ВСИТ, предшествующую определению действительному значению МХ ВСИТ. Т.е. переходу ВСИТ в состояние поверки  $S_{11}$  (или ожидания поверки, состояние  $S_{10}$ ) обязательно предшествует состояние  $S_4$  – поверки функционирования ВСИТ;

- так как повторная поверка ВСИТ проводится сразу после ремонта, и в том же органе, где оно восстанавливалось, то можно считать, что состояния "ожидания поверки" для ВСИТ после ремонта нет.

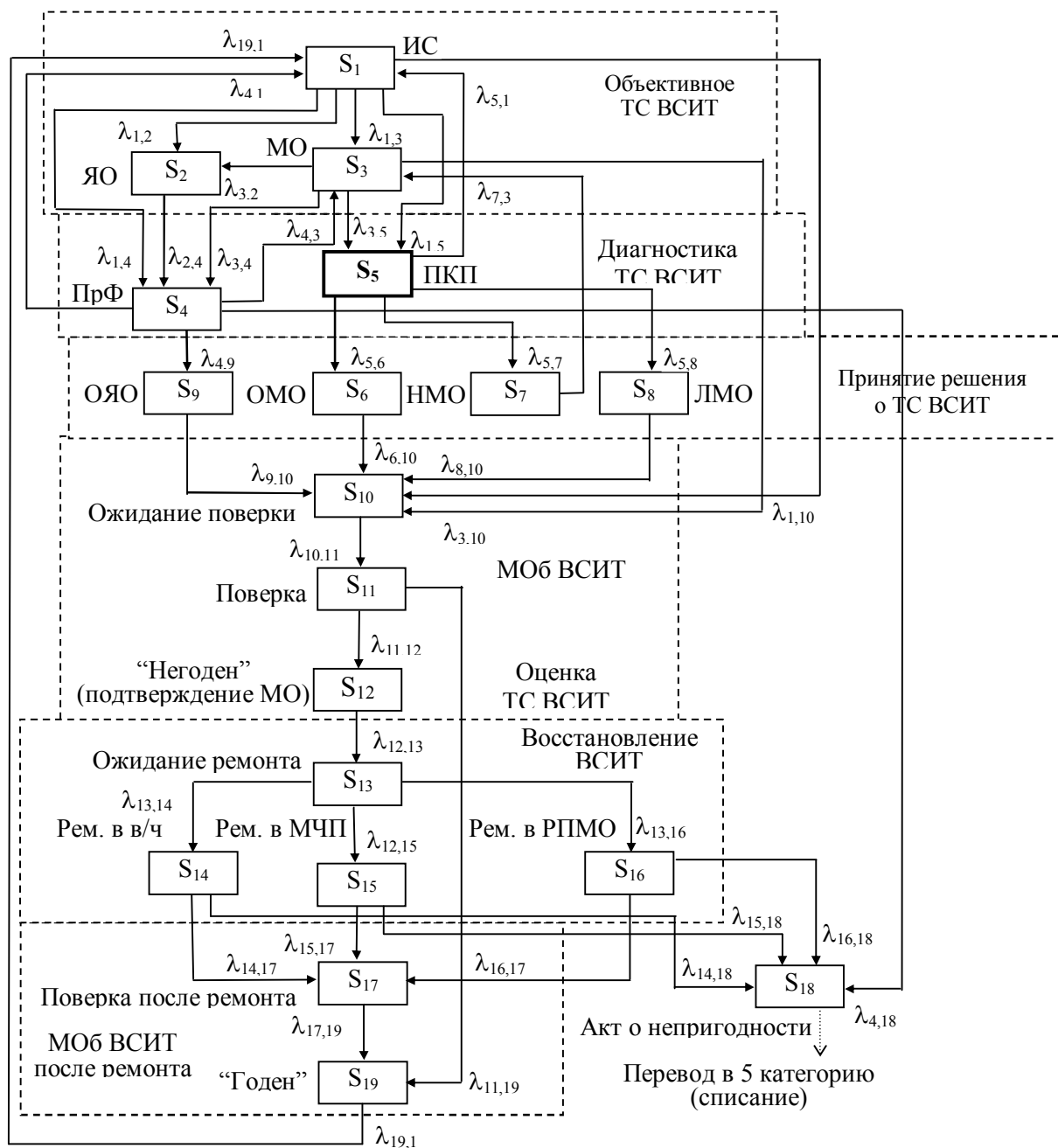


Рис. 2. Полумарковская модель эксплуатации ВСИТ

Рассмотрим предложенную модель. Исходным является состояние  $S_1$  – ВСИТ исправно, находится в эксплуатации. В ходе эксплуатации ВСИТ в результате изношенности элементной базы, неправильной эксплуатации или других эксплуатационно-технических факторов ВСИТ может перейти в состояние  $S_2$  – явного отказа ВСИТ до окончания его МПИ. В ходе деградации МХ ВСИТ может перейти в состояние  $S_3$  – при котором оно используется по назначению, но наступил метрологический (скрытый) отказ до окончания МПИ. Перед непосредственным применением ВСИТ, согласно нормативных документов, проводится обязательная проверка функционирования, ВСИТ переходит в состояние  $S_4$ . Для определения реального текущего метрологического состояния в промежутках между плановыми

поверками проводится ПКП ВСИТ – оно переходит в состояние  $S_5$ . Если в ходе проведения ПКП обнаружен скрытый (метрологический) отказ ВСИТ переходит в состояние –  $S_6$ . Если же при по результатам ПКП допущена ошибка 2-го рода ВСИТ переходит в состояние  $S_7$  – необнаруженного метрологического отказа, т.е. метрологически неисправное ВСИТ признано годным. По результатам ПКП может быть допущена и ошибка первого рода – зафиксирован ложный метрологический отказ (состояние  $S_8$ ) и метрологически исправное ВСИТ изымается из эксплуатации для проведения внеплановой поверки. В состоянии  $S_9$  – обнаруженный явный отказ (при его наличии) ВСИТ переходит по результатам проверки функционирования. Если отказ (эксплуатационный или метрологический) обнаружен, ВСИТ

изымается из эксплуатации для поверки в МЧП, т.е. переходит в состояние  $S_{10}$ . В это же состояние ВСИТ переходит при окончании МПИ, т.е. наступлении срока очередной поверки. Через определенное время ВСИТ попадает на поверку, т.е. переходит в состояние  $S_{11}$ , в результате которой отказ действительно подтверждается и фиксируется штампом в эксплуатационной документации ВСИТ с соответствующей отметкой "негоден" – ВСИТ переходит в состояние  $S_{12}$ . Если отказ не подтверждается, то ВСИТ переходит в состояние  $S_{19}$  с отметкой в эксплуатационной документации "годен". Если же ВСИТ все-таки забраковано, оно направляется на ремонт (восстановление) ВСИТ, т.е. находится в состоянии  $S_{13}$  – ожидании ремонта. В зависимости от сложности (категории) предстоящего ремонта ВСИТ может восстанавливаться в ремонтном подразделении своей войсковой части (текущий ремонт), либо отправляться на ремонт в МЧП высшего уровня (как правило, при среднем ремонте), либо отправляться на ремонтное предприятие Министерства обороны. Соответственно из состояния  $S_{13}$  ВСИТ может перейти в одно из состояний  $S_{14}$ ,  $S_{15}$ ,  $S_{16}$ . В соответствии с нормативными и руководящими документами после ремонта ВСИТ подлежит повторной (обязательной) поверке – состояние  $S_{17}$ . Если ВСИТ восстановлено и его МХ соответствуют нормированным значениям, на лицевой панели ВСИТ и в эксплуатационной документации делаются соответствующие отметки и ВСИТ переходит в состояние  $S_{19}$ . После того как ВСИТ попадает на образец ВВТ и начинает эксплуатироваться, оно переходит в состояние  $S_1$ . В это же состояние ВСИТ возвращается из состояний  $S_4$  и  $S_5$ , если техническое и метрологическое состояние ВСИТ в ходе его эксплуатации осталось удовлетворяющим установленным нормам. Если же техническое состояние ВСИТ таково, что оно признается непригодным к дальнейшей эксплуатации и его восстановление невозможно, либо нецелесообразно, выдается извещение о непригодности ВСИТ. На основании извещения о непригодности (либо иной причине – морального устаревания, разукомплектовности, выработки сроков службы и т.п.) ВСИТ переводится в 5-ю категорию (списывается), т.е. переходит в состояние  $S_{18}$ .

Переход ВСИТ в различные состояния в описанной модели происходит двумя способами: первый – директивно, по решению человека (как правило, определяется соответствующими руководящими или нормативными документами, либо различными ЭТФ), и второй – объективно, в ходе изменения технического (метрологического) состояния ВСИТ. Определение интенсивности наступления соответствующих событий, по сути, и является основной научной задачей при математической формализации предложенной модели. При этом математический аппарат полумарковских процессов дает возможность найти (оценить) средние значения количества

ВСИТ, находящихся в том или ином состоянии и времени пребывания соответствующих ВСИТ в этих состояниях. Решение этой задачи будет рассмотрено во второй части данной статьи.

## Выводы

В статье предложена модель, которая по сравнению с известными, учитывает все основные особенности, характерные для процесса эксплуатации ВСИТ, связанные с его МЛО, восстановлением, учетом различности законов распределения эксплуатационных и метрологических отказов ВСИТ, учетом изменения текущего метрологического состояния ВСИТ между его очередными поверками, оценки достоверности результатов МЛО ВСИТ. Адекватность предложенной модели основным событиям процесса эксплуатации ВСИТ позволяет получить наиболее точные временные и вероятностные показатели, тем самым повысить эффективность планирования и проведения МЛО ВСИТ. Особым достоинством модели является то, что она позволяет учитывать динамику объективного уменьшения существующего парка ВСИТ, входящих в состав ВВТ.

## Список литературы

1. Метрологическое обслуживание вооружения и военной техники войск ПВО / И.П. Чепелев, Н.Н. Шишов, В.М. Казачков и др. – М.: Военное изд-во, 1994. – 167 с.
2. Крецук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 200 с.
3. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
4. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высш. шк., 1982. – 231 с.
5. Мельниченко А.Е. Анализ известных методов корректировки межповерочных интервалов средств измерительной техники // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2005. – Вып. 3 (43). – С. 65-77.
6. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Метод повышения метрологической надежности средств измерительной техники // Збірник наук. праць. Тем. вип.: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ "ХПИ", 2003. – № 21. – С. 175-178.
7. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
8. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1991. – № 11. – С. 3-10.
9. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Метод корректировки межповерочного интервала средств измерительной техники // Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2003. – № 7, т.3. – С. 181-186.
10. Чинков В.Н., Герасимов С.В., Мельниченко А.Е. Исследования марковской модели эксплуатации войсковых средств измерительной техники с учетом промежуточных контрольных проверок // Системы озброєння і військова техніка. – 2005. – Вып. 2(2). – С.54-57.

Поступила в редколлегию 9.04.2007

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Ю.Б. Прибылев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

