

# МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

## MODEL OF PROCESS OF METROLOGICAL SERVICE OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF TROOPS

**M. Plut  
A. Myakotin  
K. Chubarev  
S. Kryvtsov  
G. Baiseitov**

*Summary.* The article describes in detail the main factors affecting the metrological service of automated control systems and provides a detailed analysis of the metrological service of automated control systems. The conceptual model proposed by the authors allows to evaluate the impact of metrological maintenance of ACS on their performance.

*Keywords:* metrological service, automated control systems, operation indicators, efficiency of use.

**П**ри разработке модели метрологического обслуживания автоматизированных систем управления войсками (АСУВ) необходимо чтобы АСУВ сохранила свои параметры и характеристики в пределах, установленных нормативно-технической документацией (НТД). Эффективное применение АСУВ может быть реализовано на основе точной и своевременной информации о ее техническом состоянии. Источником такой информации являются как встроенные, так и приданные средства измерений (СИ). Однако эффективность использования АСУВ зависит не только от характеристик СИ, но и от готовности СИ к работе в период эксплуатации АСУВ. Поэтому в процессе эксплуатации АСУВ возникает необходимость в метрологическом обслуживании АСУВ.

**Плут Михаил Николаевич**

*К.т.н., доцент, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
ployd@mail.ru*

**Мякотин Александр Викторович**

*Д.т.н., профессор, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
aleksandrmyakotin@gmail.com*

**Чубарев Карп Сергеевич**

*К.т.н., профессор, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
karp@chubarev.net*

**Кривцов Станислав Петрович**

*Старший преподаватель, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
staskriv@mail.ru*

**Байсаитов Гани Нуралиевич**

*К.т.н., ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
bayyseitov.ganinurgalievich@rambler.ru*

*Аннотация.* В статье подробно рассмотрены основные факторы, оказывающие влияние на метрологическое обслуживание АСУВ и дан подробный анализ метрологического обслуживания АСУВ. Предложенная авторами концептуальная модель позволяет оценить влияние метрологического обслуживания АСУВ на их работоспособность.

*Ключевые слова:* метрологического обслуживания, автоматизированные системы управления, показатели эксплуатации, эффективность использования.

Следовательно, при оценке влияния процесса метрологического обслуживания необходимо учитывать следующие виды состояний функционирования АСУВ:

$S_1$  — состояние исправности;

$S_2$  — состояние сбоя, обнаруживаемого при обслуживании (контроле);

$S_3$  — состояние обслуживания работоспособной АСУВ;

$S_4$  — состояние восстановления;

$S_5$  — состояние работы при наличии отказа, не обнаруженного при контроле;

$S_6$  — состояние восстановления ложно выбракованной АСУВ

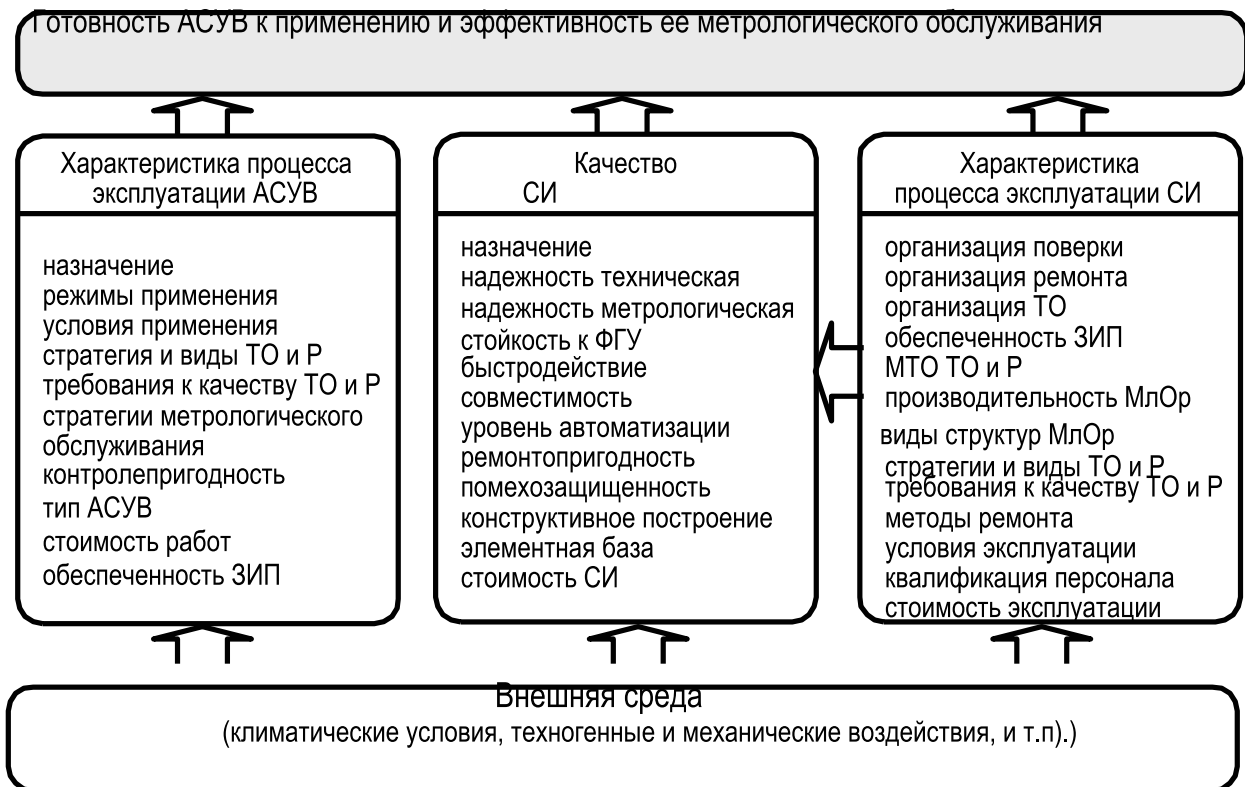


Рис. 1. Факторы, влияющие на метрологическое обслуживание АСУВ

Нахождение АСУВ в одном из указанных выше видов состояний определяется совокупностью многих факторов, в том числе, зависит от состояния СИ. Результаты измерительного контроля используются для принятия решения о возможности дальнейшего применения АСУВ. Если по результатам контроля АСУВ признана исправной, то она поступает для дальнейшей эксплуатации, в противном случае — восстанавливается. Предполагается, что регулировки и ремонт полностью восстанавливают работоспособное состояние АСУВ, однако из-за конечной точности СИ возможны ошибки контроля первого и второго рода.

В отличие от эксплуатации АСУВ процесс эксплуатации СИ имеет свои особенности:

- ◆ поверка производится через нормативно установленные интервалы времени с возможной их корректировкой в зависимости от условий эксплуатации;
- ◆ при использовании по назначению в течение межповерочного интервала выявляются только не метрологические отказы, устранение которых производится путем ремонта;
- ◆ метрологические (скрытые) отказы выявляются только при очередных поверках поверочными органами;

- ◆ в процессе поверки возможны ошибки поверки первого и второго рода;
- ◆ при поверке возможно осуществление регулировки СИ; если же с ее помощью метрологические свойства не восстанавливаются, то СИ отправляются в ремонт установленным порядком.

Метрологические отказы сказываются на точности измерений, а явные отказы приводят к изменению качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). При этом возможны следующие случаи:

- ◆ измерения выполняются в меньшем объеме;
- ◆ измерения выполняются в установленном объеме после восстановления отказавшего СИ путем ремонта или замены.

В первом случае сбой приводит к уменьшению полноты контроля АСУВ, во втором — к увеличению времени выполнения измерений. Следует заметить, что к таким же последствиям приводит и отсутствие на местах эксплуатации СИ (при нахождении в поверке или ремонте в момент, когда необходимо производить измерения).

Основные факторы, оказывающие влияние на метрологическое обслуживание АСУВ подразделяем на два класса: объективные и субъективные (рис. 1).

Таблица 1. Зависимость значений  $K_{он}$  от продолжительности работы

Количество месяцев, в течение которых накоплен опыт	5	15	20	25	30	35
Коэффициент опытности	0,31	0,44	0,61	0,91	1,05	1,14

Объективными факторами являются: климатические условия, техногенные, механические воздействия и др., которые целесообразно учитывать в модели на этапах метрологического обслуживания АСУВ и СИ (при использовании по назначению, а также при определении времени восстановления).

Влияние субъективных факторов на метрологическое обслуживание АСУВ определяется характером воздействия личного состава, обеспечивающего их использование по назначению, организацией и качеством проведения метрологического обслуживания, ТО и Р, условиями эксплуатации, а также особенностями технологического оборудования АСУВ[1].

В современных условиях уровень подготовки личного состава, инженерно-технического состава (ИТС), эксплуатирующего АСУВ и СИ оказывает существенное влияние на качество проводимых мероприятий по метрологическому обслуживанию АСУВ и при контроле их состояния.

Показатели эксплуатации, ТО и Р АСУВ и СИ, эффективность применения АСУВ и СИ в значительной степени зависят от опыта личного состава проводящего работы по ТО и Р АСУВ и СИ и характеризуется коэффициентом опытности ( $K_{он}$ ). Коэффициента опытности — это показатель характеризующий профессиональную подготовку персонала и скорость принятия решения в экстремальных ситуациях, в зависимости от продолжительности их работы. Значения коэффициента опытности персонала представлены в табл. 1.

Коэффициент опытности может быть учтен при формализации процесса эксплуатации путем пересчета времени выполнения измерительных операций при применении СИ, а также при назначении средней наработки на отказ и среднего времени восстановления СИ и АСУВ.

При плано-предупредительной системе ТО и Р потребность в проведении измерений на АСУВ определяется периодичностью проведения ТО-1 и ТО-2 на АСУВ и СИ.

Продолжительность контроля ( $t_k$ ) определяется затратами времени на подготовительные и заключительные работы ( $t_{подг}$ ,  $t_{закл}$ ), на не измерительный контроль ( $t_n$ ), числом измеряемых параметров ( $n$ ) и продолжительностью измерения одного параметра ( $t_1$ ):

$$t_k = t_n + t_{подг} + t_n(n, t_1) + t_{закл}, \quad (1)$$

где  $t_u$  — продолжительность измерительного контроля.

Если при контроле работоспособности используются встроенные и приданные СИ, имеющие разные затраты времени на измерения, то необходимо уточнить формулу (1). Тогда продолжительности контроля АСУВ определяется формулой:

$$t_k = t_n + t_{подг} + \sum_{i=1}^{n_{вн}} \left( \frac{t_{подг_i} + t_{закл_i}}{n_{вн1}} + t_{1i} \right) + \max_j(t_{ij}), j = \overline{1, n_{встр}}, \quad (2)$$

где:  $n_{вн}$ ,  $n_{встр}$  — среднее число параметров, измеряемых соответственно с помощью приданных и встроенных СИ;

$n_{вн1}$  — среднее число параметров АСУВ измеряемых одним прибором;

$t_{1i}$  — время измерения  $i$ -го параметра.

Если учесть возможность отказа с последующим восстановлением СИ в процессе проверки АСУВ, то выражение (2) преобразуется к виду:

$$t_k = t_n + \frac{n_{вн}}{n_{вн1}} (t_{подг1} + t_{закл1}) + t_1 P_{си} (n_{вн} + 1) + (n_{вн} + 1)(t_1 + t_в^{сн})(1 - P_{си}), \quad (3)$$

где:  $P_{си}$  — вероятность нахождения СИ на месте эксплуатации в работоспособном состоянии и его безотказной работы на протяжении всего цикла измерительного контроля АСУВ;

$t_в^{сн}$  — среднее время восстановления СИ;

$t_1$  — время измерения одного параметра.

В случае, если продолжительность измерений одного параметра с помощью приданного и встроенного приборов одинакова и равна  $t_1$ , получим более простую формулу, для продолжительности контроля ( $t_k$ ) АСУВ, которая имеет вид:

$$t_k = t_n + \frac{n_{вн}}{n_{вн1}} (t_{подг1} + t_{закл1}) + t_1 (n_{вн} + 1). \quad (4)$$

Следует учесть, что отказ может быть устранен либо путем ремонта отказавшего прибора, либо путем его замены работоспособным. Естественно, что метод восстановления СИ существенно сказывается на значении величины ( $t_k$ ). Если АСУВ допускает возможность одновременно измерять несколько параметров, то общее время контроля работоспособности в этом случае составит:

$$t_k = t_n + \frac{1}{K_o} \left[ \frac{n_{вн}}{n_{вн1}} (t_{подг1} + t_{закл1}) + t_1 P_{си} (n_{вн} + 1) + (n_{вн} + 1)(t_1 + t_b^{си})(1 - P_{си}) \right], \quad (5)$$

где:  $K_o$  — коэффициент одновременности, характеризующий среднее число одновременно измеряемых параметров на АСУВ.

Продолжительность восстановления АСУВ ( $t_a$ ) определяется затратами времени на поиск отказавшего элемента ( $t_n$ ), ремонт этого элемента или его замену ( $t_{рем}$ ) и послеремонтный контроль образца ( $t_{нк}$ ). В этом случае, продолжительность восстановления АСУВ может быть представлена в виде:

$$t_a = t_n + t_{рем} + t_{нк}. \quad (6)$$

Если применяется последовательный поиск отказавшего элемента, при котором каждый последующий шаг поиска определяется результатами предыдущего, то при отсутствии ошибок контроля на каждом шаге поиска продолжительность отказа равна:

$$t_n = l(t_n + n_1 t_1), \quad (7)$$

где:  $l$  — число шагов до обнаружения, отказавшего элемента;

$t_1$  — время измерения одного параметра;

$n_1$  — число параметров, измеряемых на каждом шаге поиска.

Для метода половинного разбиения вероятность отыскания отказавшего элемента ( $P_n$ ) определяется по формуле:

$$P_n = \frac{1}{2l} (2 - \alpha_n - \beta_n) l. \quad (8)$$

где  $\alpha_n, \beta_n$  — условные вероятности ложного и необнаруженного сбоя на каждом шаге поиска.

С учетом возможных ошибок принятия решений в процессе технического диагностирования продолжительность восстановления СИ имеет вид:

$$t_a = (t_n + t_{нк}) / P_n + t_{рем}. \quad (9)$$

В случае признания поверенного СИ неисправным оно отправляется в ремонт и производится повторная поверка, следовательно, суммарное время поверки СИ равно:

$$t_{пв} = \frac{2T_{пв} + T_{вспв}}{K_{оп}} + t_{оп}. \quad (10)$$

В случае признания АСУВ неработоспособной, она подлежит ремонту, следовательно, суммарное время измерений параметров на АСУВ равно:

$$t_{пв} = \frac{t_{пв0} + t_{пв0}}{K_{оп}}, \quad (11)$$

при контроле работоспособности АСУВ со скрытым отказом и отсутствии ошибки 2-го рода расчет времени измерений параметров производится согласно выражению (7).

Проведенный анализ факторов и условий их воздействия на процесс эксплуатации СИ позволил в качестве исходных данных модели использовать:

$F_1(t)$  — функция распределения времени безотказной работы АСУВ по внезапным сбоям;

$F_2(t)$  — функция распределения времени безотказной работы АСУВ по постепенным сбоям;

$T_{до}$  — средняя длительность обслуживания;

$T_a$  — среднее время восстановления;

$P_{но i}$  — вероятность необнаруженного отказа при

контроле  $i$ -го параметра;

$P_{ко i}$  — вероятности ложного отказа при контроле  $i$ -го параметра.

К исходным данным также относятся: стратегии метрологического обслуживания АСУВ; виды ТО и Р АСУВ; структура ТО и Р ремонта СИ; стратегии поверки и ремонта СИ; стоимостные показатели, характеризующие затраты на эксплуатацию СИ; квалификация обслуживающего персонала (уровень опытности персонала).

Изменяемыми параметрами в модели выступают:

- ◆ квалификация персонала;
- ◆ стратегии метрологического обслуживания АСУВ;
- ◆ стратегии поверки и ремонта СИ.

Выходными результатами являются: время работы АСУВ в исправном состоянии; стоимость метрологического обслуживания АСУВ.

В качестве допущений выступают следующие требования[2]:

- ◆ используемые СИ соответствуют требованиям по своевременности, требуемой точности;
- ◆ технологическое оборудование, количество ЗИП, ремонтных комплектов позволяют проводить ТО и Р АСУВ и СИ с требуемым качеством;

- ◆ отказ различных элементов являются независимыми событиями;
- ◆ отказ АСУВ и СИ обнаруживаются в момент их возникновения;
- ◆ за время восстановления АСУВ СИ новых отказов не происходит.
- ◆ количество личного состава экипажей и мастеров-ремонтников не превышает штатного значения;

## Выводы

1. Предложенная модель позволяет оценить влияние метрологического обслуживания АСУВ на их работоспособность.
2. Требуется дальнейшая проработка представленной модели применительно к конкретной области использования АСУВ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Исаков Е.Е., Мякотин А. В., Губская О. А., Кривцов С.П. Оптимальная цифровизация военных систем связи // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» -№ 3–4. —2017. -С. 22–26
2. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие /Васильев К.К., Служивый М. Н.— Ульяновск: УлГТУ, 2010. — 170 с.
3. Исаков Е.Е., Мякотин А. В., Жадан А. П., Кривцов С.П, Басулин Д. В. Оценка необходимых и достаточных значений реальной пропускной способности военных систем передачи информации. Информация и космос. Радиотехника и связь. СПб. 2017. С. 133–136.

© Плут Михаил Николаевич ( ployt@mail.ru ), Мякотин Александр Викторович ( aleksandrmyakotin@gmail.com ), Чубарев Карп Сергеевич ( karp@chubarev.net ), Кривцов Станислав Петрович ( staskriv@mail.ru ), Байсаитов Гани Нуралиевич ( bayseitov.ganinurgalievich@rambler.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого