

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОРРЕКТИРОВКИ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.Е. Мельниченко

(Харьковский университет Воздушных Сил)

В статье проведен анализ различных методов (методик) корректировки межповерочных интервалов средств измерительной техники (СИТ), на основе принятой классификации по оптимизируемым критериям. Определены достоинства и недостатки рассмотренных методов, с учетом возможности их применения для оптимизации межповерочных интервалов войсковых СИТ.

средство измерительной техники, межповерочный интервал, метрологическое обслуживание, метод корректировки, анализ

Постановка проблемы. Как бы тщательно ни было изготовлено и отрегулировано СИТ, с течением времени в элементах схемы и механизме неизбежно протекают разнообразные процессы старения, следствием чего является неуклонное возрастание его погрешности, которое и приводят к отказам СИТ [1, 2]. Причем если отказы явного характера влекут за собой в основном соответствующие экономические затраты, связанные с: необходимостью содержания обменного фонда (ОФ); проведением обязательного метрологического обслуживания (МОБ) СИТ из состава ОФ; а также проведением ремонта отказавших СИТ и постремонтного МОБ отказавших СИТ, то метрологические отказы, заключающиеся в выходе значений метрологических характеристик (МХ) СИТ за нормированные значения, в силу своего скрытого характера, помимо указанных затрат, приводят к дополнительным убыткам от выпуска бракованной продукции вследствие использования на производстве метрологически неисправных СИТ. Результатом худших ситуаций могут стать различного рода технологические сбои, аварии на производстве и т.п. Применительно к войсковым СИТ (ВСИТ) данные негативные явления могут стать причиной более тяжелых последствий – неэффективного технического обслуживания вооружения и военной техники (ВВТ), понижения ее боеготовности.

Основным методом поддержания СИТ в метрологически исправном состоянии в процессе их эксплуатации является поверка (калибровка) СИТ, которая проводится через определенные *межповерочные интервалы* (МПИ) [3].

Однако МПИ большинства СИТ, установленные разработчиком с большой перестраховкой, как правило, не изменяется и ходе всего срока их

эксплуатации. Вследствие этого потребители СИТ сталкиваются с экономической проблемой иного характера – с учетом принятой периодичности МОБ СИТ и затрат на его проведение, которые для различных типов СИТ составляют в среднем (10 – 20)% стоимости прибора, а также затрат на их ремонт, суммарные за срок службы СИТ расходы становятся сравнимыми со стоимостью новых СИТ, а в ряде случаев и значительно превосходят ее [4]. А в нынешних условиях существенного ограничения финансирования Вооруженных Сил Украины, и в первую очередь на их техническое переоснащение, вопросы экономической целесообразности и эффективной организации МОБ ВСИТ становятся как никогда актуальными.

Таким образом, существующая в настоящее время практика периодических проверок СИТ не решает полностью задачи обеспечения эффективной эксплуатации СИТ.

Цель статьи заключается в проведении анализа известных методов корректировки МПИ СИТ и оценки возможности их применения для совершенствования существующего научно-методического аппарата корректировки (оптимизации) длительности МПИ войсковых СИТ (ВСИТ), с помощью которых осуществляются измерительный контроль параметров ВВТ.

Основная часть. Вопросу обоснованного назначения МПИ СИТ посвящено множество работ как у нас в стране, так и за рубежом. Особое развитие он получил в последние десятилетия с формированием теории метрологической надежности СИТ [5 – 11].

Принято считать, что в работах практически всех авторов различных методов корректировки МПИ используется, как правило, один из трех подходов: *экономический*, *техничко-эксплуатационный* и *смешанный* [8]. Однако при более тщательном анализе можно выделить и другие, порой определяющие, критерии приоритетности выбора того или иного метода корректировки МПИ.

Рассмотрим основные положения некоторых из предлагаемых методов (методик) корректировки МПИ СИТ, исходя из приведенной их классификации. Принятые авторами в соответствующих аналитических выражениях обозначения приводятся без изменений, в соответствии с первоисточниками.

При *экономическом* подходе длительность МПИ определяют из условий минимизации экономических затрат, связанных с обслуживанием СИТ, а также брака, вследствие применения неисправных СИТ.

Так, исходными посылками автора [12] являются: использование в условиях массового производства большого числа однотипных СИТ, в сочетании с высокой интенсивностью их работы; стабильность возникающих метрологических отказов СИТ; принимается гипотеза о нормальном законе распределения времени безотказной работы (ВБР) СИТ;

постоянство внешних условиях; полное восстановлением работоспособности СИТ после устранения отказа. Постоянным принимается также качество ремонтного персонала и используемой при ремонте элементной базы. На основании всего этого автором делается основная посылка, что процесс, характеризующий состояние СИТ в момент времени t , является *регенерирующим*. Исходя из этого, критерием оптимизации МПИ СИТ устанавливается максимальный коэффициент технического использования K_T , а в качестве экономического критерия выступают минимальные удельные затраты на единицу времени работы СИТ соответственно:

$$\max\{K_T = T_p/T\}; \quad \min\left\{C_y = \sum_{i=1}^l c_i k_i / T\right\},$$

где T_p – период работы СИТ; T – период регенерации; c_i – удельные потери за единицу времени, проведенного в некотором i -м состоянии ($i = 1, 2, \dots, l$); k_i – коэффициент, показывающий долю времени, проведенного СИТ в соответствующем состоянии.

При ограничении на вероятность метрологического отказа $P_M(\tau) \geq \gamma$ среднюю длительность регенерации предлагается определять по формуле

$$T = \tau + t_{пп}P_M(\tau) + t_{ап}F_M(\tau),$$

где τ – срок очередной поверки; $F_M(\tau)$ – функция распределения ВБР СИТ по метрологическим отказам; $P_M(\tau) = 1 - F_M(\tau)$; $t_{пп}$ и $t_{ап}$ – средние длительности плановой профилактики и аварийно-профилактического ремонта.

Приводятся аналитические выражения для оптимального срока очередной поверки τ_0 максимизирующего коэффициент технического использования K_T и минимизирующего удельные затраты C_y .

При относительной простоте метода, что следует отнести к его *достоинству*, допущения, приведенные выше, становятся его *недостатками* при оценке возможности применения метода именно к ВСИТ, по следующим причинам:

- на образцах ВВТ нет большого количества однотипных СИТ, тем более интенсивность их использования не является высокой;
- специфика эксплуатации ВВТ не характеризуется неизменными внешними условиями, следовательно, тезис о стабильности возникновения метрологических отказов неприемлем для ВСИТ, входящих в состав данного образца ВВТ;
- ремонт неисправных ВСИТ из комплекта образца ВВТ не всегда производится в одном и том же ремонтном органе, следовательно, для ВСИТ неприемлем тезис о постоянном качестве ремонта;
- для большинства радио- и электроизмерительных СИТ выход из строя отдельных элементов приводит к изменению, в различной степени, параметров других элементов измерительных схем и цепей, следствием

чего и становятся метрологические отказы СИТ. В ходе ремонта таких СИТ, как правило, происходит устранение отказавших элементов, но далеко не всегда последствий этих отказов. Поэтому вывод о регенерирующем характере восстановления технического состояния СИТ правомерен не для всех типов (групп) СИТ.

В [13] автор делит все методы корректировки МПИ на методы, реализуемые для индивидуальных и для массовых СИТ. Основой его аргументации при обосновании предлагаемого метода является заключение о том, что система индивидуальных МПИ сложна и трудно реализуема и, в отличие от оптимизации МПИ для массовых СИТ, а потому не позволяет значительно улучшить достоверность измерений. Следует отметить, что данное утверждение противоречит достаточно многим исследованиям и, в частности, [20].

Аналитическое выражение для оптимизируемого значения МПИ выводится на основе допущения о нормальном распределении погрешностей СИТ, принятия линейной модели ухода СКО распределения суммарных погрешностей СИТ данного типа и с учетом коэффициента, характеризующего изменение эксплуатационных качеств проектируемого СИТ по сравнению с СИТ – предшественником:

$$T_p = \frac{t_p}{t_n} \gamma T_n; \quad \gamma = \frac{y_n - y_{nr}}{y_p - y_{pr}},$$

где $t_n = \delta_n / \sigma_n$ – отношение предела допускаемой погрешности к СКО погрешности по ансамблю СИТ для СИТ, являющемуся предшественником разрабатываемому; $t_p = \delta_p / \sigma_p$ – то же отношение для разрабатываемого СИТ; T_n – МПИ для СИТ -предшественника; T_p – МПИ для СИТ разрабатываемого типа; γ – коэффициент, характеризующий изменение эксплуатационных качеств проектируемого СИТ по сравнению с СИТ- предшественником.

Значения СКО σ_n и σ_{nr} вычисляются по результатам поверок, СКО σ_p определяют теоретически или по результатам государственных контрольных испытаний; СКО σ_{pr} рассчитывают по заданной доле бракуемых при поверках СИТ.

При несложности предлагаемых автором аналитических выражений, что следует отметить как *достоинство* данного метода, его *недостатками* являются узкая целевая направленность (назначение *первичных* МПИ), а также необходимость в большом объеме статистических данных для расчета необходимых показателей, которые возможно получить лишь в ходе государственных контрольных и послеэксплуатационных испытаний СИТ.

Экономическая обоснованность оптимальной периодичности плановых поверок рабочих СИТ, по мнению автора [14], должна строиться на основе расчета приведенных затрат. Целевая функция этой задачи

имеет в виду оптимизацию переменной части удельных (приходящихся на одно СИТ) годовых затрат Z_{var} , зависящей от периодичности проверок:

$$Z_{\text{var}} = E_n K_{\text{рез}} + C_A + C_{\text{пов}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{нр}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений; $K_{\text{рез}}$ – капитальные вложения в резервный фонд СИТ, создаваемый для замены рабочих СИТ на время их плановых проверок и ремонтов; C_A – амортизационные отчисления на резервный фонд; $C_{\text{пов}}$ – годовые затраты на проведение плановых проверок СИТ; $C_{\text{рем}}$ – то же на ремонт СИТ вследствие метрологических отказов; $C_{\text{нр}}$ – годовые затраты предприятия (потери), связанные с функционированием СИТ в неработоспособном состоянии.

При этом ключевой посылкой автора является следующее. Поскольку восстановление метрологических свойств СИТ производится при обнаружении как метрологических, так и явных отказов, а моменты возникновения явного отказа и проведения очередной плановой проверки могут не совпадать, отсчет межпроверочных интервалов должен начинаться с момента устранения явного отказа. Поэтому система плановых проверок в рассматриваемой задаче строится на усредненном промежутке v между двумя явными отказами СИТ.

Составляющие затрат целевой функции (1) формализуются автором как

$$K_{\text{рез}} = K \frac{\phi_n(N-1) + \phi_p n(N)}{v - \phi_n(N-1) - \phi_p n(N)},$$

где K – капитальные вложения в рабочее СИТ; τ_n , τ_p – соответственно среднее время отсутствия рабочего СИТ в производственном процессе из-за проведения проверки и ремонта; N – число МПИ на промежутке v ; $n(N)$ – среднее количество ремонтов на промежутке v .

Автором делается утверждение, что в общем случае оптимальное количество МПИ на промежутке v , при котором обеспечивается минимум целевой функции (1), можно определить различными методами, в частности, методом Фибоначчиевых планов поиска. Принимается гипотеза об экспоненциальном законе распределения наработки СИТ до метрологического отказа, что находит соответствующее отражение в преобразовании целевой функции (1). Приводится вывод аналитических выражений для оптимального МПИ для ЭИП.

Как бесспорное *достоинство* предложенной методики оптимизации МПИ следует отметить ее достаточное, но не перенасыщенное математическое обоснование, а также приведенный пример расчета с конкретными значениями. Однако реализация методики подразумевает наличие у “корректировщика” МПИ конкретных значений достаточно большого количества экономических показателей, связанных с эксплуатацией СИТ. А этот *недостаток* делает невозможным ее применение для ВСИТ.

Из анализа приведенных и других [15, 16] методов очевидно, что экономический подход более осуществим именно для “гражданских” СИТ, задействованных в производстве предприятий, где вопросы экономической целесообразности, возможности накопления необходимой статистики о стабильности МХ СИТ, а также наличие сведений о затратах, обусловленных применением неисправных СИТ при производстве определенных видов продукции, и других экономических показателей эксплуатации СИТ, делают приемлемым именно этот подход корректировки МПИ.

Поэтому для ВСИТ более приемлемы такие методы корректировки МПИ и способы оптимизации их эксплуатации, которые изначально определяли бы экономическую целесообразность МОБ ВСИТ.

Так, в [17] автор на основе статистики, согласно которой 80-90% приборов, предъявляемых на периодические проверки, являются работоспособными, делает заключение о необязательности периодической проверки, что позволило бы сократить затраты на выполнение этой работы. Однако, при этом увеличивается вероятность работы СИТ, имеющем скрытый отказ, что может привести также к определенным затратам. Поэтому предлагается определить условия, при которых можно отказаться от проведения периодической проверки, что уменьшит затраты на обслуживание радиоизмерительных приборов (РИП).

Автор формулирует задачу следующим образом: имеются две стратегии обслуживания РИП в условиях эксплуатации. При первой стратегии через определенный МПИ τ проводится периодическая проверка прибора. При второй стратегии проводится лишь послеремонтная проверка. Следует найти условия, при которых предпочтение отдается второй стратегии вместо первой.

Обе стратегии сравниваются с помощью среднего коэффициента удельных затрат g , определяемого по формуле:

$$g = \sum_i^3 \Phi_i C_i,$$

где Φ_i – вероятность нахождения РИП в i -м состоянии ($i = 0, 1, 2, 3$); C_0 – выигрыш, получаемый в единицу времени в результате использования работоспособного прибора ($C_0 \leq 0$); C_2, C_3 – соответственно удельные потери, связанные с проверкой и ремонтом РИП; C_4 – удельные потери, получаемые в результате использования РИП со скрытым отказом.

Каждая стратегия характеризуется своим средним коэффициентом удельных затрат. Условием предпочтительности второй стратегии вместо первой служит неравенство

$$\sum_{i=0}^3 C_i [\Phi_i^{(1)} - \Phi_i^{(2)}] > 0,$$

где $\Phi_i^{(1)}, \Phi_i^{(2)}$ – соответственно вероятности нахождения СИТ в i -м состоянии для первой и второй стратегий. В качестве модели поведения СИТ в процессе эксплуатации автор принимает полумарковский процесс. Далее с помощью матричных уравнений автор получает условие предпочтения одной стратегии на другой для конкретного случая.

В целом данный метод вполне может быть приемлем для оценки экономической целесообразности МОБ ВСИТ.

Примеры *техничко-эксплуатационного* подхода при оптимизации МПИ СИТ приведены [11, 18, 19]. Так, в [18] показателем исправности, характеризующим требования к сохраняемости МХ РИП в заданных пределах в течение установленного времени, выбрана вероятность отсутствия скрытых отказов $P_c(\tau)$ за МПИ. Требования к $P_c(\tau)$ автор определяет из особенностей использования, условий работы и обслуживания РИП у конкретного потребителя. Для определения сроков поверки оценивается безотказность РИП с помощью параметра потока отказов $\Lambda_0 = T_0^{-1}$, который принимается автором нестационарным пуассоновским.

Делается предположение о том, что в технических условиях на производство РИП задается величина производственного запаса на их МХ, который увеличивает наработку на отказ СИТ. На основании этого, используя в качестве модели изменений во времени МХ РИП марковский диффузионный процесс, среднее время нахождения МХ СИТ в допустимых пределах $\Delta_{\text{доп}}$ определится из выражения

$$T_1(\Delta) = \Delta_{\text{доп}} K_2^{-1} \text{cth}(\beta \Delta_{\text{доп}}) - 2 \Delta_{\text{доп}} \text{sh}(\beta \Delta) [K_1 \beta \Delta \text{sh}(\beta \Delta_{\text{доп}})]^{-1},$$

где Δ – производственный допуск на МХ СИТ; K_1, K_2 – соответственно коэффициент сноса и диффузии диффузионного процесса; $\beta = 2K_1 K_2^{-1}$.

Долю постепенных отказов к общему потоке предлагается учитывать с помощью коэффициента K_n , а уменьшение параметра потока Λ_0 величиной $\alpha_1^{-1} = 1 - K_n(1 - \Delta \Delta_{\text{доп}}^{-1})$.

Влияние на МПИ СИТ скрытых отказов предлагается оценивать на стадии их разработки, используя определяемую по статистическим данным испытаний на надежность и эксплуатации СИТ-аналогов долю скрытых отказов α_2^{-1} . Коэффициент α_2^{-1} , умноженный на параметр потока отказов, позволяет провести разрежение потока, получить поток скрытых отказов. Дальнейшее разрежение потока отказов для РИП, имеющих средства встроенного контроля, предлагается производить с помощью коэффициента $\alpha_3^{-1} = 1 - K$, где K – глубина встроенного контроля ($0 \leq K \leq 1$). В результате перечисленных факторов получается пуассоновский поток скрытых отказов, и его параметр определяется выражением

$$\Lambda_c = (\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3)^{-1} \Lambda_0 = (\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 T_0)^{-1}.$$

После преобразований выводятся выражения для МПИ проектируемых РИП, а также уточненный, в ходе эксплуатации СИТ, МПИ, в зависимости от целевого назначения, особенностей использования и обслуживания, требования к вероятности $P_c(\tau)$ и среднему коэффициенту использования $K_{ц}$.

Достоинством данного метода является учет целевого назначения, особенностей использования и обслуживания СИТ, а также возможность разрежения потока их отказов, что, несомненно, делает вновь откорректированный МПИ таких СИТ наиболее адекватным их техническому (метрологическому) состоянию. Как *недостаток* следует отметить большой объем расчетов и требуемых для этого исходных данных (коэффициентов сноса и диффузии диффузионного процесса, статистических данных испытаний на надежность и эксплуатации СИТ-аналогов и т.п.), которые могут быть только у разработчика СИТ.

Повышение метрологической надежности мер магнитной индукции (ММИ), согласно [11], также осуществляется по результатам эмпирической статистики. Для определения МПИ предлагается использовать регрессионный анализ. Все результаты измерений, полученные после аттестации мер, исследовались на значимость (незначимость) с использованием метода дисперсионного анализа. Проверялась гипотеза о нормальности распределения результатов внутри группы, а также определялись математическое ожидание, дисперсия, СКО. Предполагая, что временные изменения после аттестации носят линейный характер, уравнение регрессии принимается в виде: $y = \alpha + \beta x$, где y – текущие значения магнитной индукции в мере в момент t ; α – свободный член регрессии и β – коэффициент. По полученным регрессионным прямым проводилось прогнозирование стабильности ММИ.

Как *достоинство* предлагаемого метода следует отметить относительно несложный используемый матаппарат. Однако необходимость проведения большого количества измерений и расчетов *усложняет* его применение.

Большое распространение получили методы индивидуальной корректировки МПИ [20]. Это объясняется, прежде всего, тем, что они отражают специфику и условия эксплуатации, конструкционного исполнения, “возраст”, интенсивность использования и другие особенности СИТ, которые, в конечном счете, влияют на их метрологическое состояние. Более того, выборка статистических данных, полученных для конкретных СИТ, носит более адекватный характер по сравнению с усредненными статистическими данными, например, для типа СИТ.

Основной *трудностью* при использовании таких методов является минимальный объем статистических данных, получаемых в ходе эксплуатации СИТ о дрейфе их МХ. Один из методов выхода из этой ситуации – использование математических методов обработки малых и квазималых выборок [25].

Как отдельный “подвид” *технико-эксплуатационного подхода* следует выделить *статистические* методы оценки и корректировки МПИ образцовых СИТ (рабочих эталонов) и исходных эталонов различных физических величин [21, 22]. Данные методы, как правило, направлены на исследование стабильности МХ СИТ и основаны на проведении многократных измерений с применением сложных и громоздких вычислений. Высокие требования к точности и достоверности результатов сличений эталонов физических величин оправдывает и даже обязывает применение таких методов, но делают их совершенно неоправданными в применении к рабочим СИТ, к которым относятся ВСИТ.

Отдельно стоит остановиться на вопросе обоснования в предлагаемых методах и методиках корректировки МПИ закона распределения ВБР, либо погрешности СИТ [26].

В основе большинства подходов назначения и корректировки МПИ предполагается экспоненциальным закон распределения ВБР СИТ с нормальным распределением погрешностей во временных «сечениях» процесса эксплуатации [6].

Разработанный в [19] подход основывается на экспоненциальном законе изменения вероятности метрологически безотказной работы СИТ и позволяет назначать первичный МПИ и корректировать его по результатам эксплуатации. Так, первичный МПИ $\Phi_{\text{МПИ}}$, при известной наработке на метрологический отказ, можно вычислить по формуле:

$$\Phi_{\text{МПИ}} = -T_{\text{ом}} \ln P_{\text{м.тр}},$$

где $T_{\text{ом}}$ – средняя наработка СИТ на метрологический отказ; $P_{\text{м.тр}}$ – требуемое значение вероятности отсутствия метрологических отказов за МПИ.

Однако ряд исследований показывает, что для аппроксимации функции изменения во времени МХ СИТ не всегда приемлем показательный закон [2, 23]. Распределение метрологических отказов СИТ, которые вызываются монотонным постепенным “старением” параметров СИТ, хорошо описывается законом распределения Вейбулла [24].

Характерным примером *смешанного* подхода, может служить [9]. В данном случае оптимизация МПИ рассматривается как один из основных способов обеспечения метрологической надежности (МН) СИТ в процессе их эксплуатации. Автором рассматривается два основных подхода: первый – с учетом требований к МН СИТ, второй – из условия минимума экономических потерь, обусловленных погрешностью СИТ и затратами на его поверку и ремонт.

Для первого случая МПИ определяется уравнением $Q(T) = Q^*$ (где $Q(T)$ – зависимость показателя МН от МПИ T ; Q^* – нормируемое значение показателя Q). В качестве Q^* автором предлагается принимать:

- предел допускаемых значений доверительных границ нестабильности МХ СИТ n_p^* при заданной доверительной вероятности P ;
- предел допускаемых значений вероятности метрологической исправности СИТ $P_{МИ}^*$ в момент поверки;
- предел допускаемых значений коэффициента метрологической исправности СИТ $K_{МИ}$, равного среднему значению МПИ, в течение которого СИТ находилось в метрологически исправном состоянии.

Выбор критерия автор определяет из назначения СИТ, а также способа его поверки. Для рассматриваемых автором трех способов поверки приводятся соответствующие аналитические выражения для определения n_p^* , $P_{МИ}^*(T)$ и $K_{МИ}$.

Оптимальный МПИ находится методом *последовательных приближений*. Основными исходными данными для определения МПИ являются характеристики распределения нестабильности МХ СИТ $m(T)$, $\sigma(T)$ и $\gamma(T)$. Оценки этих параметров должны быть получены, по мнению автора, из следующих источников информации: испытания СИТ или его блоков; данные о нестабильности элементов СИТ; нормируемые показатели надежности СИТ; результаты проверок.

Как *недостаток* данной методики необходимо отметить то, что корректировка МПИ в ходе эксплуатации СИТ затруднительна по следующим причинам:

- 3 из 4 указанных источников информации данных для корректировки МПИ доступны лишь разработчикам СИТ, а потому могут быть использованы лишь при назначении первичного МПИ;
- результаты текущих проверок СИТ, обычно, не протоколируются. Поэтому сбор такой статистики требует специальной организации и, как правило, материальных затрат.

К *достоинствам* следует отнести то, что в случае организации сбора необходимых статистических данных откорректированный по предложенному методу МПИ будет отражать не только конструктивные особенности, но и специфику эксплуатации данного экземпляра СИТ.

На практике, как правило, пользуются упрощенными методиками корректировки МПИ. Так, в [7] откорректированный МПИ определяется как

$$T_{МПИ}^* = \frac{\ln(1 - P_{М.ОТК})}{\ln(1 - P_{М.ОТК}^*)} T_{МПИ},$$

где $P_{М.ОТК}^*$ – эмпирическая частота метрологических отказов определяемая

как $P_{М.ОТК}^* = \frac{m}{N} + 2\sqrt{\frac{m}{N^2} \left(1 - \frac{m}{N}\right)}$; $P_{М.ОТК}$ – заданное значение вероятности мет-

рологического отказа за время между поверками; N – количество поверенных однотипных СИТ, из которых m штук имеют метрологические отказы.

При указанной простоте (*достоинстве*) метода, однотипность поверяемой партии СИТ не всегда является гарантией однородности их технического (метрологического) состояния, а потому, откорректированный таким образом МПИ, будет “усредненным” для каждого СИТ из этой партии. А потому его оптимальность вызывает обоснованные сомнения.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие **выводы**:

- указанная проблема несоответствия технического (метрологического) состояния ВСИТ их МПИ, с одного стороны, и важность измерительного контроля параметров ВВТ, с другой стороны, делает научно-техническую задачу совершенствования научно-методического аппарата корректировки МПИ ВСИТ чрезвычайно актуальной и важной;

- анализ известных методов корректировки МПИ СИТ показал, что определяющими факторами в выборе конкретного метода играют не только экономические или технические факторы, но и эксплуатационные, которые в значительной мере влияют на техническое (метрологическое) состояние СИТ;

- при выборе критерия оптимизации МПИ необходимо учитывать тип, а так же вид СИТ, так как характер изменения МХ для различных СИТ существенно отличается. Так для СИТ, изменение МХ которых идет непрерывно, в качестве показателя эффективности выступает ВБР, а процесс их восстановления можно считать регенерирующим. В тоже время как для СИТ, процесс “старения” которых существенно зависит от времени функционирования, целесообразнее нормировка времени наработки на отказ;

- последнее замечание не исключает и обратного случая, когда высокостабильные СИТ с отрицательным ускорением дрейфа их МХ дают основание на существенное увеличение МПИ. Необходимым условием увеличения МПИ в таком случае являются соответствующие исследования (наработка данных) о стабильности МХ СИТ;

- отсутствие данных о различного рода затратах, связанных с разработкой, эксплуатацией, МОБ СИТ, и других экономических показателей ВСИТ, определяют необходимость разработки таких методов оптимизации их эксплуатации по экономическому критерию, которые изначально определяли бы экономическую целесообразность их периодического МОБ;

- существенное влияние на выбор метода корректировки МПИ оказывает значимость измерительных задач, решаемых данными СИТ, так как требования к точности и достоверности измерений, осуществляемых с помощью данных СИТ, определяют требования к уровню метрологи-

ческой надежности данных СИТ, а также применение соответствующих матаппаратов обработки статистических данных об изменении их МХ;

– оптимальность корректируемых МПИ во многом определяется адекватностью принимаемого закона распределения базовой характеристики СИТ;

– из вышеизложенного следует, что в основу методики корректировки МПИ ВСИТ, входящих в комплект образца ВВТ (образующих малые однородные группы), должен быть положен принцип индивидуальной корректировки МПИ, учитывающий реальное метрологическое состояние данного ВСИТ;

– оснащение метрологических частей и подразделений современными компьютерными средствами делают процедуру расчета значений индивидуальных МПИ ВСИТ легко реализуемыми, а алгоритмы расчетов МПИ, в случае необходимости, легко корректируемыми.

Дальнейшие исследования **планируется направить** на разработку метода корректировки МПИ ВСИТ, который бы отражал достоинства и учитывал недостатки проанализированных методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.
2. Новицкий П.В., Зограф И.А., Лабунец В.С. Динамика погрешностей средств измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
3. ДСТУ 3989-2000. Калібровка засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і оформлення результатів.– К.: Держст-т України, 1995. – 20 с.
4. Усачев А.В. Оперативное планирование поверки средств измерений сложных технических систем // Измерительная техника. – 2001. – № 10. – С. 69 – 71.
5. Тарбеев Ю.В., Иванов В.Н., Новицкий В.П. Научно-технические перспективы обеспечения метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1982. – № 5. – С. 17 – 18.
6. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1991. – № 11. – С. 3 – 10.
7. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 492 с.
8. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
9. Фридман А.Э. Метрологическая надежность средств измерений и определение межповерочных интервалов // Метрология. – 1991. – № 9. – С. 52 – 61.
10. Кузнецов В.А. Вопросы обеспечения метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1984 – №1 – С. 8 – 10.
11. Жевна Г.Б., Спектр С.А. Метрологическая надежность мер магнитной индукции // Метрология. – 1980. – № 3. – С. 38 – 45.

12. Полетаев В.П. Планирование оптимальных межповерочных интервалов рабочих средств измерений в условиях массового производства // *Метрология*. – 1977. – № 10. – С. 27 – 33.
13. Резник К.А. Об установлении обоснованных межповерочных интервалов // *Метрология*. – 1977. – № 10. – С. 33 – 37.
14. Ковылев Ю.И., Богородская Н.А. Определение оптимальной периодичности плановых поверок рабочих средств измерений // *Метрология*. – 1980 – № 3. – С. 3 – 7.
15. Минько Э.В., Поз В.А., Лысов О.Е. Экспериментальная экономико-математическая модель определения межповерочных интервалов средств измерений // *Метрология*. – 1977. – № 10. – С. 56 – 60.
16. Горовой А.А., Доценко Б.И., Кузьмин В.П. Модель технико-экономического обоснования создания метрологического обеспечения автоматических средств контроля // *Измерительная техника*. – 1986. – № 10. – С. 54 – 55.
17. Аранавичюс Б.Ш. О выборе рациональной стратегии обслуживания радиоизмерительных приборов // *Метрология*. – 1980 – № 3. – С. 24 – 29.
18. Бронюкайтес Р.К., Аранавичюс Б.Ш., Спицин В.Г. Оценка и обеспечение межповерочных интервалов радиоизмерительных приборов // *Метрология*. – 1980 – № 3. – С. 32 – 38.
19. Ленюк Г.К., Савченко А.Г., Филиппов В.Е. Об установлении межповерочных интервалов средств измерений с любым распределением безотказной работы // *Измерительная техника*. – 1984. – № 8. – С. 8 – 10.
20. Гуревич Ю.З. и др. Методика расчета индивидуальных поверок большого парка средств измерений // *Метрология*. – № 10. – 1977. – С. 44 – 47.
21. Безуглов Д.А., Поморцев П.М. Методика оценки интервалов групповых мер в цифровых измерительных системах. Ростов: РВИ РВ, 2001. – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autex/spb/ru>.
22. Блинов А.П. и др. Коррекция межповерочных интервалов в процессе эксплуатации образцовых средств измерений // *Измерительная техника*. – 1990. – № 4. – С. 8 – 10.
23. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учебное пособие для вузов. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
24. Чинков В.Н., Мельниченко А.Е. Методика оптимизации межповерочных интервалов средств измерительной техники при ограниченной информации об их метрологических отказах // *Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 6. – С. 107 – 110.
25. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.
26. Фридман А.Э. Априорная оценка параметра потока метрологических отказов средств измерений // *Метрология*. – 1977. – № 10. – С. 61 – 64.

Поступила 30.03.2005

Рецензент: доктор технических наук профессор В.Н. Чинков,
Харьковский университет Воздушных Сил.