

УДК 389.01

А.А. Морозов¹, А.Б. Чернов²¹Академия внутренних войск МВД Украины, Украина²Войсковая часть А0785, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОПЕРАЦИОННЫМ ЭЛЕМЕНТАМ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

В статье предлагается информационная модель формирования требований к операционным элементам системы обслуживания средств измерительного контроля в местах их эксплуатации, основанная на оптимизации состава и стратегии использования этих элементов.

система обслуживания, операционные элементы, формирование требований, средства измерительного контроля, территориально рассредоточенные пункты обслуживания

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Эксплуатация сложных технических систем критического функционирования (СТСКФ) требует постоянного и объективного контроля основных процессов, протекающих в них. Для этого используются средства инструментального контроля (СИК), что порождает необходимость их обслуживания (например, поверка, ремонт). Для этого создаются системы обслуживания (СОБ) СИК, которые должны обладать операционными возможностями, обеспечивающими своевременное и оперативное решение задач обслуживания этих средств [1 – 3].

Учитывая, что СТСКФ являются, как правило, рассредоточенными, характеризуются жесткими требованиями к уровню их готовности, обеспечение этих требований может быть достигнуто за счет обслуживания СИК в местах их эксплуатации (в территориально рассредоточенных пунктах обслуживания (ТРПО)). Обслуживание СИК в ТРПО проводится специалистами с использованием соответствующего технологического оборудования (ТО). Они структурируются в каналы обслуживания (КО), каждый из которых обеспечивает обслуживание определенной номенклатуры и количества СИК. Операционный (исполнительный) элемент (далее ОЭ) системы обслуживания представляет собой совокупность каналов обслуживания, обеспечивающих решение задач обслуживания СИК в ТРПО.

Обеспечение заданного уровня готовности СТСКФ требует формирования адекватных операционным потребностям системы операционных возможностей исполнительных элементов СОБ СИК [1].

Задачи обслуживания СИК, в том числе и в ТРПО, рассмотрены в работах [2, 4, 5]. Однако предлагаемый научно-методический аппарат обеспечивает решение только частных задач обслуживания, отсутствует комплексность и системность в решении задач, а принятые условия и допущения

при их решении существенно снижают адекватность представления задач и, как следствие, достоверность принимаемых решений.

При решении задач управления обслуживанием СИК в ТРПО необходимо учитывать его основное отличие от обслуживания СИК в стационарных органах обслуживания. Для стационарных органов обслуживания можно устранить непроизводительные затраты времени путем рационального планирования обслуживания СИК. В этом случае операционные возможности, необходимые для проведения обслуживания заданного парка СИК, определяются методом баланса времени [3 – 5]. При планировании обслуживания СИК в ТРПО этот метод определяет только необходимые условия, которые, в общем случае, не являются достаточными. При обслуживании СИК в ТРПО непроизводительные затраты времени ОЭ устранить невозможно. Основные составляющие таких затрат определяются временем их перемещения между пунктами обслуживания, подготовкой к работе (подготовка ТО к работе) и последующему перемещению (свертывание). Потери продуктивного времени возникают также при простое отдельных каналов ОЭ из-за принципиальной невозможности достижения полного соответствия специализации этих каналов и парков СИК, обслуживаемых в каждом ТРПО. Уменьшить эти потери времени можно путем рационализации операционных возможностей ОЭ. Анализ существующих подходов к решению такой задачи показывает, что некоторые из них уже рассматривались ранее [1, 3, 8, 9]. В частности, решена задача синтеза оптимального плана использования однотипных ОЭ. Однако они определяли отдельные частные задачи, а задача рационализации операционных возможностей по обслуживанию СИК в местах их эксплуатации комплексно не решалась.

Поэтому формирование рациональных требований к операционным элементам СОБ СИК в ТРПО является **актуальной** задачей.

Цель статьи – разработка информационной модели формирования требований к операционным элементам СОБ средств измерительного контроля в ТРПО.

Основной материал

Состав и последовательность решения задач обслуживания зависит от ряда условий, учет которых позволяет повысить эффективность принимаемых решений по обслуживанию СИК. Цель обслуживания СИК, исходные предпосылки, условия и допущения, имеющие место при их решении, позволяют сформулировать две комплексные задачи формирования требований к ОЭ СОБ, а именно:

задача 1 – оптимальное использование операционных возможностей существующих ОЭ N , обеспечивающее максимально возможный уровень готовности K_r СТСКФ при минимальных затратах на обслуживание СИК $C_{обсл}$:

$$\begin{cases} K_r \rightarrow \max; \\ C_{обсл} \rightarrow \min; \\ N = \text{const}; \end{cases}$$

задача 2 – синтез оптимального состава ОЭ, обеспечивающего заданный уровень готовности СТСКФ K_r^3 при минимальных затратах на создание СОБ СИК $C_{ОЭ}$:

$$\begin{cases} K_r \geq K_r^3; \\ C_{ОЭ} \rightarrow \min; \\ N = \text{var}. \end{cases}$$

Решение этих задач характеризуется определенной последовательностью этапов обработки информации, позволяющих перейти от исходных данных к управленческому решению (рис. 1).

Каждый этап характеризуется своим набором исходных данных и операций над ними. Конкретизация последовательности этапов определяет информационную модель формирования требований к операционным элементам системы обслуживания.

Этап 1. Структуризация исходных данных о СИК и ОЭ.

Данные по СИК.

Множество ТРПО i с общим количеством ТРПО – M , номенклатура СИК $\{s\}$, их количество с распределением по ТРПО Q_{si} . Существует два варианта определения этих данных.

Первый вариант предусматривает формирование исходных данных, количество и номенклатура, подлежащих обслуживанию СИК q_{si} , на основе анализа планирующих документов и заявок на обслуживание СИК [6].

Второй вариант предусматривает формирование исходных данных на основе расчета количества

и номенклатуры СИК в соответствии со штатной укомплектованностью техникой СТСКФ, и на основании этой укомплектованности рассчитывается общее количество СИК.

Далее, исходя из этого количества, допустимой продолжительности T_0 и периодичности $T_{пс}$ обслуживания СИК для каждого типа СИК оценивается значение q_{si} . Первый вариант является предпочтительным, так как позволяет получить более точные данные.

Данные по ОЭ.

Имеющийся состав ОЭ. Возможность пополнения новыми ОЭ. Типы и характеристики имеющихся и новых ОЭ. Основные характеристики ОЭ: количество КО каждого g -го типа, их производительность. На основе имеющихся данных о количестве, специализации КО ОЭ и их производительности (или времени обслуживания одного СИК s -го типа данным ОЭ), а также характеристик парка СИК для каждого i -го ТРПО определяется продолжительность работы ОЭ, которая определяется из продолжительности работы каждого КО g -го типа:

$$t_{pi}^k = \max_g(t_{gi}^k), \quad (1)$$

где t_{gi}^k – продолжительность работы группы КО g -го типа в i -м ТРПО k -го ОЭ.

Этап 2. Оценка достаточности состава ОЭ. Достаточность может быть подтверждена только нахождением допустимого плана применения номенклатуры ОЭ. Критерий достаточности – минимум времени завершения обслуживания СИК. В формализованном виде задача представляется как поиск таких маршрутов $\bar{\ell}_k$ объезда ТРПО операционными элементами, при которых [7]:

$$T_{\min} = \min \left(\max_k \sum_{i=0}^{d_k} T_{\ell_k^i}^k \right), \quad (2)$$

где d_k – количество ТРПО в маршруте k -го ОЭ;

$T_{\ell_k^i}^k$ – элементы трехиндексной таблицы $\|T\|$

размером $N \times (M+1) \times M$, определяющие время, необходимое k -му ОЭ для проведения обслуживания СИК в j -м ТРПО от момента завершения обслуживания СИК в i -м ТРПО. Элементы этой таблицы определяются по формуле: $T_{ij}^k = t_{дij}^k + t_{пj}^k + t_{сj}^k$,

при $i \neq j$, $T_{ij}^k = \infty$, $i=1..M$, $j=1..M$, $k=1..N$;

$\{\ell_k\}$ – множество ТРПО, входящих в маршрут движения k -го ОЭ; $t_{дij}^k$ – продолжительность движения

k -го ОЭ из i -го в j -й ТРПО; $t_{пj}^k$ – продолжительность подготовки k -го ОЭ к обслуживанию СИК; $t_{сj}^k$ –

продолжительность работ по обслуживанию готовки ОЭ к переезду в следующий ТРПО определяется из (1); t_c^k – продолжительность под («свертывание»).

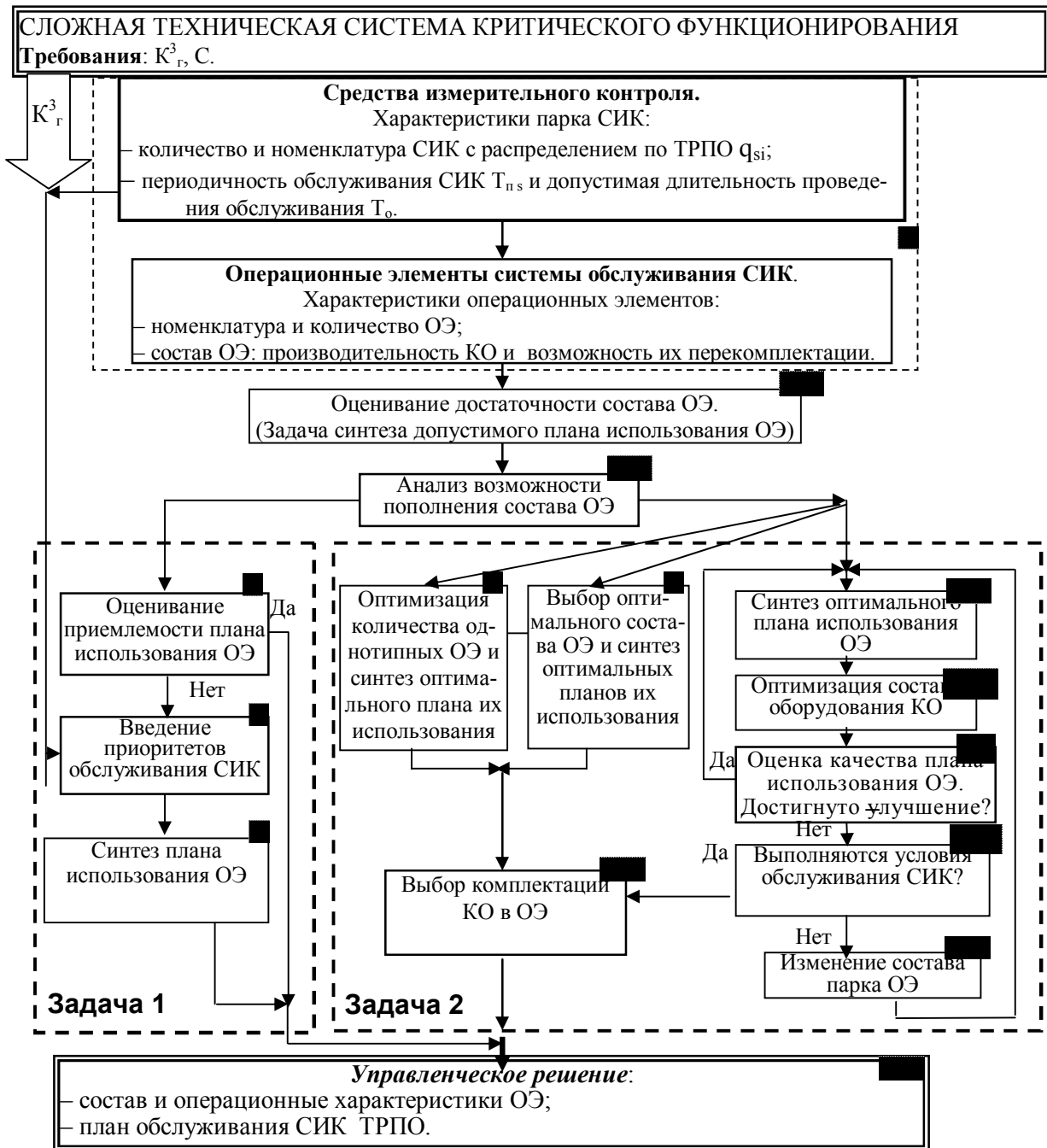


Рис. 1. Иерархия задач обоснования требований к операционным элементам системы обслуживания СИК в ТРПО

Этап 3. Анализ возможности пополнения состава ОЭ.

Возможность пополнения состава ОЭ определяется наличием операционных ресурсов и возможностей системы обслуживания. Оно, как правило, может осуществляться при реорганизации системы обслуживания СИК при заблаговременном планировании и при прогнозировании развития СТСКФ.

Задача 1. Оптимальное использование операционных возможностей ОЭ СОБ.

Этап 4. Оценивание приемлемости плана использования ОЭ. Критерием приемлемости плана выступает выполнение ограничения на время завершения обслуживания заданного парка СИК в отведенное время. Для периодического обслуживания это время соответствует периоду, уменьшенному на длительность обслуживания технологического оборудования ОЭ.

Этап 5. Введение приоритетов обслуживания СИК. Приоритеты обслуживания s-го типа СИК σ_s

могут быть абсолютными или относительными. Относительные приоритеты соответствует случаю, когда обслуживание нескольких СИК меньшего приоритета может быть предпочтительнее обслуживания меньшего количества СИТ большего приоритета.

Этап 6. Синтез плана использования ОЭ. Решается задача определения для каждого ОЭ множества ТРПО и порядка их обслуживания $\bar{\ell}_k$, а также времени, в течение которого k -й ОЭ проводит обслуживание СИК в i -м ТРПО своего маршрута $t_{\ell_k^i}$, при которых количество обслуженных СИК q_{sj} с учетом приоритетов σ_{sj} ($W = q_{sj} \cdot \sigma_{sj}$), будет максимальным [11]:

$$W_{\Sigma} = \sum_{k=1}^N W_k = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{d_k} W_{k\ell_k^i} \left(t_{\ell_k^i} \right) \rightarrow \max, \quad (3)$$

при ограничениях:

$$t_{\ell_k^i} \geq 0, \forall i, k; \sum_{i=1}^{d_k} \left(T_{\text{нв}}^k \ell_k^{i-1} \ell_k^i + t_{\ell_k^i} \right) \leq T_0;$$

$$\{\bar{\ell}_k\} \cap \{\bar{\ell}_p\} = \emptyset, \forall k \neq p;$$

где $W_k = \sum_{i=1}^{d_k} W_{k\ell_k^i} \left(t_{\ell_k^i} \right)$; $T_{\text{нв}}^{kij} = t_c^k + t_{ij}^k + t_{\text{п}}^k$ – матрица непрямых затрат времени k -го ОЭ при перемещении из i -го в j -й ТРПО; W_{Σ} – суммарное количество СИК, обслуженное всеми ОЭ; W_k – суммарное количество СИК, обслуженных k -м ОЭ; $W_{ki}(t)$ – функция времени, определяющая количество обслуженных СИК i -го ТРПО k -м ОЭ – элемент матрицы $\|W(t)\|$ размером $(N \times M)$.

Задача 2. Синтез оптимального состава ОЭ. В зависимости от наличия имеющихся новых ОЭ возникает задача выбора варианта комплектации СОБ новыми ОЭ:

– если доступны только однотипные ОЭ, то решается задача этапа 7;

– если существует возможность доукомплектования СОБ разнотипными ОЭ с постоянным составом КО, то решается задача и этапа 7, и этапа 8;

– если существует возможность доукомплектования СОБ разнотипными ОЭ с изменяемым составом КО, то решаются задачи этапа предварительно решаются задачи этапов 7 и 8, а затем осуществляется переход к этапу 9.

Этап 7. Оптимизация количества однотипных ОЭ и синтез оптимального плана их использования. Оптимизация осуществляется по критерию минимума количества ОЭ. Оптимизационная задача приводится к задаче одного коммивояжера [13]. При этом решение определяет и допустимый план использования ОЭ.

Этап 8. Определение оптимального состава и планов использования ОЭ. Задача состоит в нахождении минимального количества ОЭ N при оптимальной специализации КО и оптимальном составе технологического оборудования для их комплектации. Варьируемыми параметрами в этой задаче являются маршруты движения ОЭ $\bar{\ell}_k$, т.е., упорядоченное множество ТРПО, определяющее состав ТРПО и порядок их объезда для $k = 1 \dots N$. Требования к этим маршрутам следующие:

– наибольшее время нахождения на маршруте любого ОЭ не должно превышать нормативно заданного времени T_0 ;

– в каждый ТРПО СИК назначается один ОЭ.

В формализованном виде задача формулируется в виде задачи [6]:

$$N^{\text{opt}} \rightarrow \min_{[1..M]}, \quad (4)$$

при соблюдении ограничений:

$$T_0 \geq \max_k \sum_{i=1}^{d_k} T_{\ell_k^{i-1} \ell_k^i}^k;$$

$$\{\ell_k\} \subset \{M\}; \bigcup_{k=1}^N \{\ell_k\} = \{M\}; \{\ell_k\} \cap \{\ell_p\} = \{0\}; \forall k \neq p,$$

где N^{opt} – оптимальное количество ОЭ; N – текущее количество ОЭ, исследуемое на оптимальность.

Этап 9. Синтез оптимального плана использования существующих ОЭ. Задача в такой постановке для различных условий использования КО рассмотрена в [5, 6] как минимаксная задача теории расписаний. Для ее решения применяются методы на базе модификации метода ветвей и границ [7].

Этап 10. Оптимизация состава технологического оборудования КО. Задача решается в два этапа.

Этап 1. Определение номенклатуры ТО для каждого канала по критерию минимума его суммарной стоимости $C^{\text{ТО}}$ [14]:

$$\sum_{u=1}^U x_u \cdot c_u^{\text{ТО}} = C^{\text{ТО}} \rightarrow \min_{\bar{x}}, \quad (5)$$

при выполнении ограничения, представленного в виде логической функции:

$$F(\bar{x}) = \bigwedge_{s=1}^S f_s(\bar{x}) = 1,$$

где x_u – количество единиц ТО u -го типа; U – количество элементов множества всех типов ТО, которые могут быть использованы в составе КО; $c_u^{\text{ТО}}$ – стоимость одного образца ТО u -го типа; $F(\bar{x})$ – логическая функция, определяющая возможность обслуживания всех S типов СИК как функция от состава ТО; $f_s(\bar{x})$ – логическая функция, определяющая возможность обслуживания s -го типа СИК как

функция от состава технологического оборудования.

Задача решается методом блочного 0-1-программирования.

Этап 2. Определение специализации КО путем нахождения такого количества каналов каждого типа r_g , при котором [15]:

$$\min \sum_{\{l_k\}} t^k p_i \rightarrow \min ,$$

при соблюдении ограничения на общее количество каналов обслуживания в ОЭ $\sum_{g=1}^G r_g = R$.

Решение этой задачи осуществляется методом полного перебора, так как количество рассматриваемых вариантов мало. Критерий оптимальности – минимум времени завершения обслуживания парка СИК.

Этап 11. Оценка качества плана использования ОЭ. Достигнуто улучшение? Улучшение плана рассматривается по отношению к решению задачи 12-го этапа.

Этап 12. Проверка условий выполнения обслуживания СИК. Выполнение условий обслуживания СИК предполагает его завершение за определенное время T_0 (период обслуживания СТСКФ или нормативное время).

Этап 13. Изменение состава парка ОЭ. Включение в состав СОБ одного нового ОЭ.

Этап 14. Выбор варианта комплектации СОБ ОЭ. Сравниваются результаты решения для разных вариантов комплектации СОБ ОЭ (если существует возможность выбора различных вариантов комплектации) и выбирается лучший вариант.

Этап 15. Представление окончательного решения искомой задачи. Конечное решение, соответствует рациональной организации СИК в местах их эксплуатации.

Заключение

1. Разработанная информационная модель определила структуру задач формирования требований к ОЭ СОБ средств измерительного контроля и логическую последовательность их решения, что обеспечивает комплексность и системность в принятии решений по обслуживанию СИК СТСКФ.

2. Предложенные постановки частных задач обслуживания и методы их решения обеспечивают получение конечных решений по организации обслуживания СИК в местах их эксплуатации с учетом обеспечения заданных уровней готовности СТСКФ и минимума затрат на обслуживание.

3. Разработанная модель может быть использована для решения задач автоматизации выполнения функций управления СОБ рассредоточенными парками СИК СТСКФ

Список литературы

1. Морозов О.О., Петунін Ю.Ф., Черепков С.Т. Пересувні лабораторії вимірювальної техніки як фактор підвищення ефективності метрологічного забезпечення військ (сил) // Наука і оборона. – 1998. – № 3. – С. 48-50.
2. Морозов Р.П. Автоматизированная система управления обслуживанием приборов и оборудования. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 184 с.
3. Коротков Б.В., Морозов О.О., Черепков С.Т. Проблеми формування оптимальної структури системи забезпечення єдності вимірювань військ (сил) // Наука і оборона. – 1998. – № 3. – С. 51-53.
4. Гранатуров В.М. Экономические проблемы совершенствования организации ведомственной поверки и ремонта средств измерений. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 88 с.
5. Гранатуров В.М., Некрасов В.С. Организация, планирование и управление метрологическим обеспечением в отрасли связи. – М.: Радио и связь, 1987. – 184 с.
6. Морозов А.А., Чернов А.Б. Определение необходимого количества подвижных лабораторий измерительной техники для метрологического обслуживания войсковой измерительной техники регионов // Украинский метрологический журнал. – 1999. – № 1. – С. 58-59.
7. Морозов А.А., Чернов А.Б. Способы учета некоторых особенностей метрологического обслуживания при обосновании количества подвижных поверочных средств // Сборник научных трудов по материалам 1-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2002. – Х.: АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2002. – Ч. 2. – С. 464-467.
8. Анищев Б.В. Технично-економічне обґрунтування впровадження передвижної метрологічної лабораторії для здоровоохорони // Измерительная техника. – 1988. – № 1. – С. 50-52.
9. Анищев Б.В. Показатель ефективності подвижних лабораторій измерительной техники // Измерительная техника. – 1997. – № 4. – С. 32-35.
10. Керівництво з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у Збройних Силах України. – К.: Варта, 2001. – 104 с.
11. Морозов А.А., Чернов А.Б. Оптимизация планов использования подвижных метрологических лабораторий // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2000. – № 2. – С. 30-33.
12. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
13. Таха Х.А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 912 с.
14. Чернов А.Б. Оптимизация состава рабочих эталонов для подвижных лабораторий // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2000. – № 1. – С. 105-110.
15. Морозов А.А., Чернов А.Б. Метод оптимального распределения рабочих мест по видам измерений выездной метрологической группы // Системи озброєння і військової техніки. – Х.: ХУ ПС ім. І. Кожедуба. – 2006. – № 1 (7). – С. 96-98.

Поступила в редколлегию 9.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Н. Крюков, Академия внутренних войск МВД, Харьков.