

УДК 004.9

## РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОБИЛЬНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Малахов А.В., Миронов Е.А.**

*ФКВГОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», Санкт-Петербург,  
e-mail: vka@mil.ru*

В статье проведен анализ подходов к решению задачи расчета производительности метрологических комплексов, выявлены основные недостатки. Предложен новый подход к решению данной задачи с учетом выявленных несоответствий. Обоснован выбор экспертной группы с учетом компетентности. Разработана таблица критериев и шкал оценки компетентности привлекаемых экспертов. Обоснован выбор метода определения степени автоматизации рабочих мест, а также применения теории нечетких множеств. Проведен опрос мнений экспертной группы, на основании которого построены функции принадлежности для каждого этапа проверки. Специальные средства нечеткого моделирования вычислительной среды MATLAB позволили выполнять весь комплекс расчетов по разработке и применению нечетких моделей при определении степени автоматизации рабочего места с привлечением экспертной группы, поэтому она была выбрана в качестве программного средства, в рамках которого реализованы теоретические концепции нечетких множеств и процедуры нечеткого вывода. Представлен расчетный пример.

**Ключевые слова:** степень автоматизации, производительность, метрологические комплексы, рабочее место по проверке средств измерений, система экспертных оценок, нечеткие множества, функция принадлежности

## MOBILE METROLOGICAL COMPLEXES PERFORMANCE CALCULATION IN INSUFFICIENT DATA CONDITIONS USING FUZZY SIMULATION

**Malakhov A.V., Mironov E.A.**

*Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: vka@mil.ru*

In article the analysis of approaches to solution of problem of calculation of productivity of metrological complexes is carried out, the main shortcomings are revealed. New approach to solution of this task taking into account the revealed discrepancies is offered. The choice of task force taking into account competence is reasonable. The table criterion and scales of assessment of competence of the involved experts is developed. The choice of method of definition of extent of automation of workplaces, and also application of the theory of indistinct sets is reasonable. Survey of opinions of task force on the basis of which functions of accessory to each stage of checking are constructed is conducted. Special means of indistinct modeling of computing environment of MATLAB have allowed to execute all complex of calculations for development and application of indistinct models when determining extent of automation of workplace with attraction of task force therefore it has been selected from quality of software within which theoretical concepts of indistinct sets and procedure of indistinct output are implemented. The settlement example is presented.

**Keywords:** extent of automation, productivity, metrological complexes, workplace on checking of measuring instruments, system of expert estimates, indistinct sets, function of accessory.

В последние годы военно-техническая политика ведущих зарубежных стран отличается высокой динамичностью, активностью, гибкостью, сконцентрированностью на приоритетных направлениях военно-технического строительства. Основной ее задачей является создание систем вооружений, способных за счет качественного превосходства обеспечить успешное решение национальными вооруженными силами боевых задач в любых условиях. Существенное нарастание оперативных и боевых возможностей вооруженных сил ведущих зарубежных государств обуславливает вероятность активизации текущих и возникновения новых военных конфликтов, в которые может быть втянута Россия.

Важное место в техническом оснащении отводится метрологическому обеспечению

Вооруженных Сил Российской Федерации, под которым понимается комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности, полноты, своевременности и экономичности измерений в войсках [1].

### Формирование цели исследований

Одним из приоритетных направлений развития метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации является широкое применение подвижных лабораторий измерительной техники для метрологического обслуживания вооружения, военной и специальной техники, а также средств измерений военного назначения непосредственно в местах их эксплуата-

ции [2]. При обосновании необходимости разработки перспективных и повышения эффективности функционирования существующих подвижных лабораторий измерительной техники, а также разработки методов оценивания тактико-технических характеристик подвижных лабораторий измерительной техники при их контроле и испытаниях применяется большая номенклатура показателей. Особое внимание уделяется их производительности, которая оказывает непосредственное влияние на результативность и оперативность метрологического обслуживания средств измерений в местах их установки.

Для формирования материалов информационной поддержки принятия решения по дальнейшему направлению развития мобильных метрологических комплексов разрабатывается и используется комплекс расчетно-аналитических и информационных задач, решаемых должностными лицами метрологических служб. Одним из наиболее информативных и комплексных показателей эффективности применения метрологических комплексов является производительность. В то же время расчет значения производительности в реальных условиях затруднен большим количеством трудноформализуемых исходных данных [3], алгоритмы обработки и учета которых заметно влияют на достоверность расчетных значений производительности метрологического комплекса. Анализ существующего подхода, формированию алгоритма обработки нечеткой исходной информации и результатам нечеткого моделирования влияния показателя степени автоматизации на результаты расчета посвящена данная статья.

#### Существующая методика расчета производительности

Определение производительности проводится по следующей формуле:

$$n_{i_t} = \frac{\Phi_d \cdot Q_t}{\tau_{i_t}}, \quad (1)$$

где  $n_{i_t}$  – возможности рабочего места по выполнению  $i$ -го вида обслуживания средств измерений  $t$ -го вида измерений;  $Q_t$  – количество поверителей средств измерений  $t$ -го типа;  $\tau_{i_t}$  – нормы времени по выполнению  $i$ -го вида обслуживания средств измерений  $t$ -го вида измерений;  $\Phi_d$  – действительный фонд рабочего времени одного поверителя.

Недостатком является наличие в расчете такого показателя, как нормы времени, определение и утверждение которых проводится на основе выполнения хронометражных наблюдений за операциями, из которых состоит поверочная работа, и обработки ре-

зультатов этих наблюдений. Корректировка и уточнение данного показателя – трудоемкий и затратный процесс. В связи с этим нормы времени разрабатываются и корректируются один раз в 5–10 лет.

Предлагаемая методика является дальнейшим развитием научно-методического аппарата к определению производительности с учетом специфики применяемых сил и средств метрологического обеспечения (подвижных лабораторий измерительной техники), а также исключает наличие вышеперечисленных недостатков. Однозначное определение степени автоматизации рабочих мест требует привлечения большого количества специалистов в области метрологического обеспечения. Другой сложностью является наличие огромного количества средств измерений, имеющих различные конструктивные особенности.

Для определения степени автоматизации рабочих мест по проверке средств измерений, применение аппарата нечеткой логики позволяет работать с существующей неопределенностью, неполнотой и нечеткостью информации.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Итак, на первом этапе требуется определить достаточное количество привлекаемых специалистов. На основе критериев и шкал (см. табл. 1) каждый привлекаемый эксперт оценивается коэффициентом компетентности  $q$  с помощью следующего выражения:

$$q_j = \frac{\sum_{l=1}^L v_{jl}}{\sum_{l=1}^L v_{l_{\max}}}, \quad (2)$$

где  $v_{jl}$  – вес  $j$ -го эксперта по  $l$ -му критерию,  $v_{l_{\max}}$  – предельный вес  $l$ -го критерия,  $L$  – общее количество критериев.

Численность группы экспертов определяется из условия [4]:

$$\xi \leq m \leq \frac{3 \cdot \sum_{j=1}^J q_j}{2 \cdot q_{\max}}, \quad (3)$$

где  $q_{\max} = 1$  – максимально возможное значение коэффициента компетентности экспертов;  $\xi$  – общее количество проводимых операций.

Если условие (3) не выполняется, то в экспертную группу привлекается еще один или несколько экспертов. В результате формируется экспертная группа, которая характеризуется матрицей-строкой компетентности:

$$Q = (q_j)_{j=1..J} = (q_1, q_2, \dots, q_J).$$

**Таблица 1**

Критерии и шкалы уровня компетентности экспертов

Критерий Вес	Уровень образования экспертов	Занимаемые должности экспертов	Количество удостоверений на право поверки	Опыт работы в области метрологического обеспечения
1	Среднее	Техник, техник-начальник лаборатории	1	2 года
2	Среднее техническое	Инженер отделения	2	от 2 до 3 лет
3	Бакалавр	Начальник отделения, заместитель начальника отделения	3	от 3 до 5 лет
4	Специалист	Начальник отдела, заместитель начальника отдела	4	от 5 до 7 лет
5	Магистр	Руководитель подразделения, заместитель руководителя подразделения	5	более 7 лет

**Таблица 2**

Перечень вопросов экспертных оценок

Привлекаемые эксперты	Этапы проведения поверки средств измерений на рабочем месте			
	Внешний осмотр	Опробование средств измерений	Определение метрологических характеристик	Оформление результатов поверки
1				
...				
J				

На втором этапе разрабатывается перечень вопросов предстоящей экспертизы. Разработка опросного листа экспертизы предполагает создание списка факторов, позволяющих экспертам определить степень автоматизации (см. табл. 2).

Определение субъективной степени автоматизации рабочих мест осуществляется путем заполнения таблицы № 1 каждым привлекаемым экспертом. При этом каждый эксперт для *i*-го этапа выставляет индивидуальную оценку  $p_{ij} \in [0,1]$ . Эта оценка является субъективной степенью автоматизации *i*-го этапа поверки средств измерений. Оценочная шкала представляет собой числовые значения в интервале от 0 до 1, что соответствует процентному соотношению выполняемых функций поверителем в ручном режиме и в автоматическом к общему объему проводимых операций этапа в числителе таблицы, а также эксперты определяют степень автоматизации лингвистическими переменными [4] «низкая», «средняя», «высокая» в знаменателе.

Из проведенного анализа руководящей и нормативно-технической документации на средства измерений, видно, что процесс поверки делится на несколько основных этапов:

1. Внешний осмотр средств измерений;
  - проверка комплектности, маркировки, наличия обозначений классов точностей и единиц физической величины;
  - проверка отсутствия внешних дефектов и другие.
2. Опробование средств измерений.
3. Определение метрологических характеристик.
4. Оформление результатов поверки.

Третий этап представляет собой обработку результатов проведенной экспертизы. В результате по каждому этапу поверки средств измерений формируются матрицы:

$$P = (p_{ij}) = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1J} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{I1} & p_{I2} & \dots & p_{IJ} \end{pmatrix}.$$

Для учета уровня компетентности экспертов каждая матрица  $P_k$  преобразуется в

$$W = (w_{ij}) = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1j} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i1} & w_{i2} & \dots & w_{ij} \end{pmatrix},$$

где  $w_{ij} = p_{ij} \cdot q_j$ .

В процессе обработки мнений экспертов имеем четыре функции принадлежности. Первый этап (внешний осмотр) не требует много времени, оказывает несущественное влияние на производительность при проверке и экономически не выгоден при попытке их автоматизировать, следовательно, результирующая степень автоматизации и графики функций принадлежности определяются по остальным этапам. Так как все этапы являются составными частями одного процесса, то результирующая степень автоматизации будет определяться по следующей формуле:

$$\mu_{\Sigma i}(x) = \bigcup_{k=1}^4 \mu_i(x). \quad (4)$$

Четвертый этап представляет собой расчет «нечетких» производственных возможностей:

$$\Pi_i(x) = \frac{\Phi \cdot Q}{(1 - \mu_{\Sigma i}(x)) \cdot \tau_i}, \quad (5)$$

где  $\Phi$  – действительный фонд рабочего времени поверителя;  $\tau_i$  – нормы времени по выполнению метрологического обслуживания

средств измерений  $i$ -го вида измерений;  $\mu_{\Sigma i}(x)$  – результирующая степень автоматизации;  $Q$  – количество поверителей.

«Нечеткие» производственные возможности рабочего места определять по алгоритму нечеткого логического вывода Мамдани в пакете Fuzzy Logic Toolbox в вычислительной среде MATLAB [5]. Для этого необходимо сформировать базу правил нечеткого вывода (см. табл. 3).

Для перехода к точным значениям степени автоматизации рабочего места в процедуре используется метод «центра тяжести». Физическим аналогом этого метода является нахождение центра тяжести плоской фигуры, ограниченной осями координат и графиком функций принадлежности нечеткого множества. Аналогичным образом производительность рассчитывается для каждого рабочего места. Полученные результаты суммируются, далее определяется производительность всего мобильного метрологического комплекса.

### Расчетный пример

Дано: Автоматизированное рабочее место для проверки, регулировки и текущего ремонта средств измерений радиотехнических величин С6, Е6, Л2, В2, В3, В6, В7, В8, В9 (АРМ-1-3), входящее в состав подвижной лаборатории измерительной техники. Количество поверителей ( $Q$ ) – 1 человек. Действительный фонд рабочего времени поверителя ( $\Phi$ ) – 8 часов. Нормы времени ( $\tau_i$ ) по проведению проверки вольтметра цифрового дифференциального В2-27 – 6 часов.

Таблица 3

Фрагмент базы правил нечеткого вывода степени автоматизации

№ Правила	Условия						Вывод	
ПРАВИЛО <1>:	ЕСЛИ	Опр «Н»	И	ОМх «Н»	И	ОфР «Н»	ТО	СА «Низкая»
ПРАВИЛО <2>:	ЕСЛИ	Опр «Н»	И	ОМх «Н»	И	ОфР «Ср»	ТО	СА «Низкая»
ПРАВИЛО <3>:	ЕСЛИ	Опр «Н»	И	ОМх «Ср»	И	ОфР «В»	ТО	СА «Средняя»
...	...	...	...	...	...	...	...	...
ПРАВИЛО <26>:	ЕСЛИ	Опр «В»	И	ОМх «В»	И	ОфР «Ср»	ТО	СА «Высокая»
ПРАВИЛО <27>:	ЕСЛИ	Опр «В»	И	ОМх «В»	И	ОфР «В»	ТО	СА «Высокая»

Примечание. Опр – опробование поверяемого средства измерения; ОМх – определение метрологических характеристик поверяемого средства измерения; ОфР – оформление результатов поверки средства измерения; СА – степень автоматизации процесса поверки на рабочем месте; Н – низкая степень автоматизации; Ср – средняя степень автоматизации; В – высокая степень автоматизации.

Таблица 4

Обобщенная оценка степени автоматизации рабочего места

Оценки	Этапы проведения поверки средств измерений на рабочем месте			
	Внешний осмотр	Опробование СИ	Определение МХ	Оформление результатов
Эксперты	0	0,57	0,585	0,774
	низкая	средняя	средняя	высокая

Результирующая степень автоматизации (см. табл. 4) АРМ-1-3  $\mu_{\Sigma}(x) = 0,815$ .

Подставляя значения в формулу (5), получаем производительность – 7 средств измерений типа В2-27. При расчете производительности по существующей методике получаем 1 прибор.

### Заключение

В результате разработанная методика определения производительности мобильных метрологических комплексов позволяет более качественно проводить военно-научное и технико-экономическое обоснование процессов создания перспективных систем метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники, а также повысить эффективность существующих ее образцов. Так же при разработке методов и технических средств метрологического обеспечения средств измерений военного назначения, оценивании тактико-технических характеристик подвижных лабораторий измерительной техники при их контроле и испытаниях. Данная методика позволяет решать одну из основных задач по планированию, организации,

проведению и контролю выполнения мероприятий по метрологическому обеспечению Вооруженных Сил в мирное время и на особый период.

### Список литературы

1. Лесун И.В. Основные направления развития метрологического обеспечения вооружения и военной техники [Текст] / И.В. Лесун // Оборонный комплекс Российской Федерации: состояние и перспективы развития. – 2011. – Т. 7. – С. 447–454.
2. Гузенко В.Л., Клепов А.В., Миронов А.Н., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л. Организация мониторинга функционального состояния операторов информационно-управляющих систем // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12364> (дата обращения: 18.05.2017).
3. Дорохов А.Н. Полимодельное прогнозирование надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов в условиях неопределенности информации о неблагоприятных воздействиях среды [Текст] / А.Н. Дорохов, Е.А. Миронов, С.А. Платонов // Информация и космос. – 2014. – № 3. – С. 88–94.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 288 с.