

УДК 629.7.017  
doi: 10.21685/2307-5538-2023-3-3

## ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ВАРИАНТА КОМПЛЕКТОВАНИЯ СОСТАВА ВЫЕЗДНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП С УЧЕТОМ РИСКОВ

А. С. Ефремов<sup>1</sup>, С. В. Пузанков<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия  
<sup>1,2</sup> vka@mil.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Важной составляющей метрологического обеспечения технических систем является поверка средств измерений. Процедура поверки средств измерений может осуществляться в местах их эксплуатации выездными метрологическими группами с применением подвижных поверочных лабораторий и комплексов. Для более эффективного решения задач метрологического обслуживания необходима оценка рисков, влияющих на работу выездной метрологической группы. Актуальность темы обусловлена важностью задач в принятии решений комплектования выездных метрологических групп в условиях неопределенностей различного рода. Целью работы является идентификация и анализ факторов риска, которые влияют на результативность метрологического обслуживания. *Материалы и методы.* Исследования основываются на использовании теории вероятностей и математической статистики, теории надежности и квалиметрии применительно к задачам оценки эффективности функционирования выездных метрологических групп. *Результаты.* Рассмотрен состав показателей результативности, оперативности и ресурсоемкости для оценки эффективности деятельности выездных метрологических групп. Приведено описание задачи определения параметров выездных метрологических групп в условиях обеспечения приемлемого уровня риска. Представлен анализ источников опасных событий и их влияние на результативность метрологического обслуживания. *Вывод.* С использованием рассмотренного подхода может быть определен ряд рациональных или оптимальных вариантов организации деятельности выездных метрологических групп в составе ведомственных метрологических служб в условиях неопределенности ситуации.

**Ключевые слова:** метрологическое обслуживание, выездная метрологическая группа, средства измерений, результативность, риск

**Для цитирования:** Ефремов А. С., Пузанков С. В. Подход к обоснованию варианта комплектования состава выездных метрологических групп с учетом рисков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 3. С. 23–32. doi: 10.21685/2307-5538-2023-3-3

## APPROACH TO THE SUBSTANTIATION OF THE OPTION OF COMPOSITION OF THE METROLOGICAL OFFICE GROUPS IN CONSIDERING RISKS

A.S. Efremov<sup>1</sup>, S.V. Puzankov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, Saint Petersburg, Russia  
<sup>1,2</sup> vka@mil.ru

**Abstract.** *Background.* An important component of the metrological support of technical systems is the verification of measuring instruments. The procedure for verification of measuring instruments can be carried out in the places of their operation by visiting metrological groups using mobile verification laboratories and complexes. To more effectively solve the problems of metrological services, it is necessary to assess the risks that affect the work of the field metrological group. The relevance of the topic is due to the importance of tasks in making decisions on the acquisition of field metrological groups under conditions of various kinds of uncertainties. The aim of the work is to identify and analyze risk factors that affect the effectiveness of metrological services. *Materials and methods.* Research is based on the use of probability theory and mathematical statistics, reliability theory and qualimetry in relation to the tasks of evaluating the effectiveness of the functioning of field metrological groups. *Results.* The composition of indicators of effectiveness, efficiency and resource intensity for evaluating the effectiveness of the activity of field metrological groups is considered. The description of the task of determining the parameters of field metrological groups under the conditions of ensuring

an acceptable level of risk is given. An analysis of the sources of hazardous events and their impact on the effectiveness of metrological services is presented. *Conclusion.* Using the considered approach, a number of rational or optimal options for organizing the activities of visiting metrological groups as part of departmental metrological services in the conditions of an uncertain situation can be determined.

**Keywords:** metrological service, visiting metrological group, measuring instruments, efficiency, risk

**For citation:** Efremov A.S., Puzankov S.V. Approach to the substantiation of the option of composition of the metrological office groups in considering risks. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(3):23–32. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-3-3

### *Введение*

В Федеральном законе № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений» установлены обязательные метрологические требования к измерениям в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Для подтверждения соответствия метрологическим требованиям и обеспечения установленного уровня метрологической надежности средств измерений (СИ) проводится совокупность мероприятий по метрологическому обслуживанию СИ. В состав мероприятий метрологического обслуживания СИ могут входить такие работы и операции, как поверка СИ, аттестация рабочих эталонов, калибровка СИ, не подвергаемых поверке, текущий ремонт СИ, а также при необходимости контроль метрологических характеристик СИ в период между очередными поверками.

Поверка СИ, аттестация рабочих эталонов и другие работы по обеспечению единства измерений выполняются силами аккредитованных организаций, входящих в структуру государственной и ведомственных метрологических служб. Метрологическое обслуживание СИ может осуществляться как в стационарных подразделениях метрологических служб, так и непосредственно в местах эксплуатации СИ выездными метрологическими группами (ВМГ) с применением подвижных поверочных лабораторий и комплексов.

При планировании работ по метрологическому обслуживанию СИ, обосновании состава и порядка функционирования поверочных подразделений ведомственных метрологических служб, при организации работ ВМГ необходим учет множества внешних и внутренних факторов, которые создают неопределенность в отношении достижения поставленных целей. Такой учет может быть реализован на основе применения риск-ориентированного подхода (ГОСТ Р ИСО 9100-2015 «Системы менеджмента качества. Требования», ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» и ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска»).

### *Постановка задачи*

В целях сокращения временных и материальных затрат, а также обеспечения возможности обслуживания СИ, встроенных и входящих в состав технических объектов и систем, метрологическое обслуживание СИ может проводиться непосредственно в местах их применения по назначению (использования).

Работа ВМГ организуется, как правило, в соответствии с планом, определяющим виды, объемы, места и сроки выполнения работ по метрологическому обслуживанию. Для выполнения планируемого объема работ ВМГ комплектуются необходимым составом специалистов, оснащаются средствами поверки, вспомогательными устройствами и оборудованием, необходимой документацией и размещаются, как правило, на базе подвижных лабораторий измерительной техники (ПЛИТ).

В обобщенном виде содержание деятельности ВМГ состоит в выполнении некоторых видов и объемов работ с использованием временных, материальных и иных ресурсов. Исходя из этого, деятельность ВМГ можно характеризовать показателем  $Y$  технико-экономической эффективности функционирования [1, 2], включающим показатели результативности, оперативности и ресурсоемкости:

$$Y = (Y_P, Y_T, Y_C), \quad (1)$$

где  $Y_P$  – показатели результативности, характеризующие степень достижения целевого (полезного) эффекта функционирования ВМГ;  $Y_T$  – показатели оперативности, характеризующие

временные составляющие процессов функционирования ВМГ и метрологического обслуживания СИ;  $Y_C$  – показатели ресурсоемкости, характеризующие затраты ресурсов различных видов на оснащение и функционирование ВМГ (посредством пересчета могут быть сведены к экономическим (стоимостным) показателям).

Достижимые значения технико-экономических показателей зависят как от внутренних – структурно-функциональных параметров ВМГ, так и от внешних параметров, включающих параметры совокупности обслуживаемых объектов и параметры условий выполнения работ:

$$Y_i = f(X, O, Z), \quad (2)$$

где  $Y_i$  – обобщенное обозначение частного показателя,  $i = \overline{1, I}$ ;  $X$  – вектор структурно-функциональных параметров ВМГ (типы транспортных средств, области аккредитации, количество специалистов, количество и типы рабочих мест, интенсивности обслуживания и пр.);  $O$  – вектор параметров объектов обслуживания (число и типы обслуживаемых средств, характеристики потоков заявок на обслуживание и пр.);  $Z$  – вектор параметров условий выполнения работ.

При организации и планировании работ ВМГ становится важной задача определения такого состава структурно-функциональных параметров ВМГ  $X^*$ , при котором обеспечивались бы требуемые значения выбранных технико-экономических показателей  $Y_i$ .

При этом планируемые виды, объемы и сроки выполнения работ по метрологическому обслуживанию предполагаются заданными, а условия выполнения работ – предположительно известными и удовлетворяющими имеющимся требованиям. В зависимости от имеющейся системы предпочтений задача выбора параметров ВМГ по совокупности показателей может быть сформулирована с использованием различных критериев.

Однако следует учесть, что реализация даже хорошо спланированных работ сопровождается множеством неопределенностей различного рода, так или иначе влияющих на возможность достижения поставленных целей. Исходя из этого, с позиции риск-менеджмента постановку задачи определения параметров ВМГ следует дополнить условием обеспечения приемлемого уровня риска [3]. В обобщенном формализованном виде такую задачу можно представить в виде

$$\begin{aligned} X^* : Y_i(X^*, O, Z) \in \{Y_i^{\text{доп}}\}, \\ R_j \leq R_j^{\text{доп}}, j = \overline{1, J}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Y_i$  и  $\{Y_i^{\text{доп}}\}$  – значения определяемых частных показателей и множества их допустимых значений соответственно;  $R_j$  и  $R_j^{\text{доп}}$  – уровень риска  $j$ -го типа и допустимый (приемлемый) уровень риска  $j$ -го типа соответственно.

Поэтому при решении задачи определения параметров ВМГ  $X^*$  необходима оценка рисков для их учета и последующего управления ими для снижения количества и последствий опасных и неблагоприятных факторов или их нейтрализации.

### Оценка рисков

Неопределенность в общем случае характеризует состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей. Под риском понимается следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей. Применительно к рассматриваемой задаче под следствием влияния неопределенности будем понимать негативное отклонение от ожидаемого результата или события. Риск в соответствии с принятыми подходами будем характеризовать путем описания возможного события, обстоятельств и их последствий (или их сочетания) и соответствующей вероятности наступления этого события.

Оценка риска является частью процесса менеджмента риска и представляет собой процесс, охватывающий идентификацию риска, анализ риска и сравнительную оценку риска.

*Идентификация рисков* предполагает определение перечня источников риска и описание событий и последствий рисков, которые могут помешать достижению целей. Поэтому для идентификации рисков следует вначале определить цели создания и функционирования ВМГ.

Цель ВМГ состоит в качественном выполнении за установленный интервал времени некоторого запланированного объема работ по метрологическому обслуживанию СИ различных типов. Планируемые объемы работ на рассматриваемый период обычно определены потребностями обслуживаемых объектов и заведомо должны соответствовать потенциальной производительности ВМГ. Однако в силу тех или иных случайных факторов и причин, фактически достигаемый результат деятельности становится случайным, а результат работ может отличаться от запланированного. Поэтому в качестве показателя результативности ВМГ, характеризующего степень достижения цели запланированной деятельности, возможно использовать соотношение между фактическими результативными и плановыми объемами работ по метрологическому обслуживанию [4].

Если в составе метрологического обслуживания можно выделить  $K$  видов относительно единообразных работ, и целевые показатели определены по каждому виду работ отдельно, то результативность работы ВМГ можно характеризовать вектором показателей  $Y_p = Y_{p_1}, \dots, Y_{p_k}, \dots, Y_{p_K}$ ,  $k=1, \overline{K}$ , компоненты которого характеризуют результативность по каждому виду работ и могут быть определены соотношением

$$Y_{p_k} = \frac{N_{pk}(T_{пл})}{N_{ok}(T_{пл})} = \frac{K_{y_k} K_{тп_k} P_{p_k} n_{фk} \mu_k}{n_{0k} \lambda_k}, \quad (4)$$

где  $N_{ok}(T_{пл})$  – запланированный на интервал времени  $T_{пл}$  объем работ  $k$ -го вида;  $N_{pk}(T_{пл})$  – объем качественно выполненных (результативных) работ  $k$ -го вида за время  $T_{пл}$ ;  $n_{0k}$  и  $\lambda_k$  – изначально планируемое количество работ и интенсивность потока заявок на выполнение работ соответственно;  $n_{фk}$  и  $\mu_k$  – фактическое количество заявок на выполнение работ и интенсивность выполнения работ соответственно;  $K_{y_k}$  – коэффициент укомплектованности рабочих мест для выполнения работ;  $K_{тп_k}$  – коэффициент технического использования рабочих мест для выполнения работ;  $P_{p_k}$  – вероятность правильного (результативного) выполнения работ вида (определяется ошибками 1-го и 2-го рода).

В случае, если частные задачи по метрологическому обслуживанию подчинены единой цели и вклад (важность) каждого вида выполняемых работ может быть определен с помощью коэффициентов весомости  $m_k$  ( $\sum m_k = 1, k=1, \overline{K}$ ), то обобщенный показатель результативности можно определить в виде

$$Y_p = \sum_{k=1}^K m_k \frac{N_{pk}(T_{пл})}{N_{ok}(T_{пл})} = \sum_{k=1}^K m_k Y_{p_k}. \quad (5)$$

Введенный показатель результативности характеризует удельную долю выполненных работ, определяемую с учетом фактического числа заявок, укомплектованности, технической готовности средств, а также правильности выполнения работ.

Для определения величины ущерба будем полагать, что ущерб отсутствует, когда результаты работ полностью соответствуют плану, в противном случае – зависит от объема невыполненных работ, т.е. от разности между плановым и фактически выполненным результативным объемом работ по метрологическому обслуживанию. Если некоторой установленной единице работ каждого вида по метрологическому обслуживанию поставлен в соответствие размер ущерба  $u_k$ , то ущерб  $U_k$  от неполного выполнения работ  $k$ -го вида за интервал времени  $T_{пл}$  может быть определен из соотношения

$$U_k = u_k (N_{ok}(T_{пл}) - N_{pk}(T_{пл})) = u_k (1 - Y_{p_k}) N_{ok}(T_{пл}). \quad (6)$$

Суммарная величина ущерба от неполного выполнения всех видов работ может быть определена для случая равноразмерных единиц ущерба каждого вида с учетом важности работ по формуле

$$U = \sum_{k=1}^K m_k U_k. \quad (7)$$

Как видно из приведенных соотношений, в общем случае несоответствие результата работ ВМГ поставленной цели, приводящее к появлению ущерба, обусловлено неполным соответствием фактических возможностей ВМГ (оснащенности, готовности, производительности и пр.) в реальных условиях функционирования фактическим характеристикам (типам и интенсивностям) потоков заявок на метрологическое обслуживание.

Для выявления возможных источников рисков проведем вначале идентификацию рисков на качественном уровне, для чего проанализируем факторы внутренней и внешней среды (причины, события и последствия) и их возможные влияния на достижение целей функционирования ВМГ.

Источники неопределенностей целесообразно сгруппировать в соответствии со структурой параметров анализируемой системы: свойства и характеристики самих ВМГ, параметры объектов обслуживания, условия выполнения работ.

Неопределенность параметров ВМГ может выразиться в непредвиденном изменении характеристик транспортной базы, персонала, системы измерений (рабочих мест поверки), системы обеспечения, состоящей из подсистемы жизнеобеспечения и электропитания (табл. 1).

Таблица 1

Неопределенность параметров ВМГ

Объекты риска	Типовые риски	Возможные последствия, влияющие на результативность
1	2	3
Транспортное средство	Техническая неисправность	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение времени следования ВМГ</li> <li>• Отсутствие возможности прибытия ВМГ</li> <li>• Невыполнение запланированного объема работ</li> </ul>
	Транспортная доступность	
ДТП		
Водитель	Временная нетрудоспособность	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение времени выполнения работ</li> <li>• Невыполнение запланированного объема работ</li> </ul>
	Полная потеря трудоспособности	
Начальник ВМГ, поверитель (сотрудник ВМГ)	Временная нетрудоспособность Полная потеря трудоспособности	
Рабочие места по поверке СИ	Метрологический отказ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Перегрузки и отказы в обслуживании</li> <li>• Снижение вероятности результативного выполнения работ</li> <li>• Увеличение времени выполнения работ</li> <li>• Невыполнение запланированного объема работ</li> <li>• Снижение производительности рабочих мест</li> </ul>
	Технический отказ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Перегрузки и отказы в обслуживании</li> <li>• Невыполнение запланированного объема или увеличение времени работ</li> </ul>
ПЭВМ со специализированным программным обеспечением	Выход из строя системы в целом	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Невыполнение запланированного объема или увеличение времени выполнения работ</li> <li>• Невыполнение запланированного объема работ по видам измерений</li> </ul>
	Отказ, сбой ПО	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение времени выполнения работ</li> </ul>
	Отказ орг. техники	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение времени подготовки отчетных документов</li> </ul>
Подсистема жизнеобеспечения (фильтровентиляционная установка, кондиционер, отопительно-вентиляционная установка)	Технический отказ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение времени выполнения работ</li> <li>• Увеличение вероятности ошибок</li> <li>• Проявление нестабильности метрологических характеристик СИ и РЭ</li> <li>• Появление дополнительных погрешностей</li> </ul>

Окончание табл. 1

1	2	3
Подсистема автономного электропитания	Технический отказ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Отсутствие возможности проведения метрологического обслуживания СИ, требующего электропитания</li> <li>Увеличение времени выполнения работ</li> </ul>
	Отсутствие топлива	
	Разрядка АКБ	
Промышленные сети	Отсутствие возможности подключения	<ul style="list-style-type: none"> <li>Увеличение расхода ресурсов</li> <li>Отсутствие возможности проведения метрологического обслуживания СИ</li> <li>Увеличение времени выполнения работ</li> </ul>
	Технический отказ	
	Временное отключение	
	Перебои в обеспечении ресурсами	

Неопределенность параметров объектов на различных этапах метрологического обслуживания может состоять в непредвиденном изменении характеристик потоков заявок на обслуживание, причем как в части видов и объемов работ, так и в части интенсивностей потоков заявок и сроков поступления заявок (табл. 2).

Таблица 2

Неопределенность параметров объектов обслуживания  
на различных этапах метрологического обслуживания

Этапы	Типовые риски	Возможные последствия, влияющие на результативность
Поступление и прием СИ	Некомплектность СИ, представленного на поверку	<ul style="list-style-type: none"> <li>Несоблюдение графика работ</li> <li>Невыполнение запланированного объема работ</li> <li>Изменение интенсивности потока заявок на обслуживание</li> </ul>
	Представление СИ не в запланированное время	
	Несоответствие областей аккредитации ВМГ представленным видам СИ	
Обеспечение условий выполнения работ	Несоответствие требованиям выделенных и оборудованных помещений (мест) для размещения и работы ВМГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Увеличение времени выполнения работ</li> <li>Уменьшение вероятности результативного выполнения работ</li> <li>Отсутствие возможности проведения метрологического обслуживания СИ</li> <li>Невыполнение запланированного объема работ</li> </ul>
	Отсутствие личного состава, необходимого для оказания помощи специалистам ВМГ	
	Отсутствие вспомогательного оборудования для проведения работ	
Процесс метрологического обслуживания	Представление на обслуживание СИ, отсутствующих в плане работ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Увеличение времени выполнения работ</li> <li>Увеличение количества работ</li> <li>Увеличение интенсивности потока заявок на обслуживание</li> </ul>
	Выявление в ходе работ дополнительных видов и объемов работ	

Неопределенность условий выполнения работ заключается в возможном изменении целого ряда эксплуатационных факторов, которые по источнику их возникновения можно разделить на две большие группы: естественные и искусственные (табл. 3).

Проведенный на качественном уровне анализ чувствительности позволил установить характер влияния изменений рассматриваемых факторов на параметры процесса функционирования ВМГ, что влечет изменение значений показателей результативности.

*Анализ рисков* является следующим этапом оценки рисков, выполняется на основе проведенной идентификации и требует применения, в том числе и количественных методов. Количественная мера риска определяется из закона распределения ущерба, а в качестве меры риска используются показатели, учитывающие характеристики закона распределения ущерба – вероятности появления и размеры ущерба.

Таблица 3

## Неопределенность условий выполнения работ

Вид факторов риска	Типовые риски	Условия проявления	Возможные последствия, влияющие на результативность
Естественные			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Появление дополнительных погрешностей</li> <li>• Возрастание вероятности технических отказов</li> <li>• Возрастание вероятности метрологических отказов</li> <li>• Увеличение времени выполнения работ</li> <li>• Уменьшение объема результативных работ</li> <li>• Снижение коэффициента технического использования средств поверки</li> <li>• Возрастание вероятности возникновения ошибок</li> </ul>
Климатические	Нарушение герметичности изделий	При нарушении условий хранения, перевозки и эксплуатации СИ	
Атмосферное давление			
Температурная среда			
Влажность	Ускорение процессов коррозии материалов; гидролиз; повреждение изделий	При работе в необорудованных или не предусмотренных для этого помещениях	
Среда с коррозионно-активными агентами	Расслоение и растрескивание покрытий деталей		
Атмосферное осадки	Резкое ускорение процессов коррозии материалов	В определенных географических районах, при нарушении условий хранения, перевозки и эксплуатации СИ	
Пыль (песок)	Изменение режима теплообмена; коррозия и механические повреждения		
Биологические (грибы, плесень, бактерии)	Химическое разложение материалов и потеря свойств конструктивных элементов и деталей	При нарушении условий хранения, перевозки и эксплуатации СИ	
Сейсмические удары	Износ прочности конструкций; механические повреждения	В сейсмически активных районах	
Искусственные			
Механические (статические, динамические)	Деформация изделий; нарушение герметичности и разрушение деталей; расслоение и растрескивание покрытий; разупрочнение и разрушение твердых материалов	При нарушении правил размещения СИ при перевозке и эксплуатации, невыполнении мер защиты с помощью амортизаторов и демпферов	
Термические	Снижение механических характеристик элементов; частичное поверхностное разрушение покрытий; набухание и усадка уплотнителей	При нарушении условий теплового режима работы СИ на который они рассчитаны	
Электромагнитные	Нарушение стабильности оптических и теплофизических характеристик материалов; нарушение или нестабильность функционирования элементов и деталей	При нарушении экранирования, несоблюдение правил расположения СИ	

Данные о вероятности событий и их последствиях используют для определения уровня риска. В зависимости от целей исследований и используемой системы предпочтений степень риска при определении параметров ВМГ может оцениваться на основе использования различных показателей качества, и в первую очередь – через показатели результативности и ущерба, непосредственно характеризующие степень достижения основной цели.

При определении параметров ВМГ следует выполнять поиск наилучшего или приемлемого решения на множестве допустимых вариантов в условиях неопределенности.

На множестве возможных значений частных параметров ВМГ  $X$  в их допустимых сочетаниях может быть сформировано конечное число  $N$  решений – вариантов построения ВМГ  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ . А на множестве возможных значений параметров обслуживаемых объектов  $O$  и условий работ  $Z$  может быть сформировано конечное число  $M$  вариантов внешней по отношению к ВМГ среды  $S_1, S_2, \dots, S_M$ , отражающих возможные реальные ситуации, характеризующиеся значениями влияющих факторов.

В этом случае множество возможных исходов результатов деятельности ВМГ можно характеризовать матрицей результативности вида

$$Y_{P_{\{N,M\}}} = \begin{bmatrix} Y_{P11} \dots Y_{P1m} \dots Y_{P1M} \\ \dots \dots Y_{Pnm} \dots \dots \\ Y_{PN1} \dots \dots Y_{PNM} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

компоненты  $Y_{Pnm}$  которой характеризуют результативность ВМГ при  $n$ -м варианте параметров ВМГ и  $m$ -м варианте реальной ситуации.

Аналогичным образом можно построить матрицу ущербов

$$U_{P_{\{N,M\}}} = \begin{bmatrix} U_{11} \dots U_{1m} \dots U_{1M} \\ \dots \dots U_{nm} \dots \dots \\ U_{N1} \dots \dots U_{NM} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

компоненты  $U_{nm}$  которой характеризуют размер ущерба при  $n$ -м варианте параметров ВМГ и  $m$ -м варианте ситуации.

В качестве меры риска каждый вариант построения ВМГ можно характеризовать математическим ожиданием ущерба  $R_U$ , определяемым по формуле

$$R_U = U_{cp} = \sum_{m=1}^M P_m U_m, \quad (10)$$

где  $P_m$  – вероятность наступления события, приводящего к получению ущерба размером  $U_m$ , ( $m=1, M$ );  $M$  – общее число возможных ситуаций, которые могут иметь место, включая и ситуации с нулевым ущербом.

Для оценки степени риска целесообразно использовать величину среднеквадратического отклонения риска

$$\sigma_U = \sqrt{\sum_{m=1}^M (U_m - U_{cp})^2 P_m}, \quad (11)$$

а также коэффициент вариации риска:

$$K_U = \frac{\sigma_U}{R_U}. \quad (12)$$

Чем больше среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации, тем больше степень неопределенности, и тем выше риск [5].

Также степень риска можно оценить через вариацию параметров результативности функционирования ВМГ: как отношение среднеквадратичного отклонения показателя результативности к средневзвешенному по вероятности событий значению показателя результативности. Кроме того, уровень риска также можно характеризовать и временными показателями, оценивая возможные превышения плановых сроков выполнения работ по метрологическому обслуживанию. Также риск возможно оценивать на основе анализа изменений ресурсных или стоимостных показателей в зависимости от рассматриваемых факторов и событий.

Достаточно сложной и ответственной задачей при оценке рисков является определение вероятностей возникновения событий и ситуаций, влияющих на достижение целей и приводящих к появлению ущерба. Для оценки вероятностей отдельных опасных событий могут быть применены различные подходы: использование статистических данных, аналитический анализ зависимости состояния системы и процесса функционирования от соответствующих факторов; использование экспертных оценок [6, 7].

Проведенный анализ источников опасных событий при функционировании ВМГ показал, что состав влияющих факторов достаточно многочислен, кроме того, ряд событий и факторов оказываются взаимозависимыми. Это существенно затрудняет перебор всех возможных ситуаций и их сочетаний, а также делает проблематичным достоверное определение вероятностей. Поэтому применительно к рассматриваемой задаче для оценивания уровня рисков представляется возможным использование сценарного подхода и смешанных методов определения вероятностей реализации сценариев. При этом необходимо экспертным методом сформировать множество сценариев  $S$ , каждый из которых характеризовал бы некоторое сочетание состояний факторов, влияющих на достижение целей функционирования ВМГ. Число таких сценариев должно быть обзорным, но достаточным, чтобы в совокупности охватить все наиболее вероятные варианты сочетаний событий. В качестве варианта возможно использование всего трех сценариев – базового, пессимистического и оптимистического.

В каждом из сценариев экспертами устанавливаются значения влияющих факторов, а также производится экспертная оценка вероятностей каждого сценария. В случае полной неопределенности в части определения вероятностей сценариев может быть использовано правило равновероятности Лапласа [6], когда предполагается, что все варианты развития реальной ситуации равновероятны. После этого по каждому сценарию производится расчет показателей, характеризующих степень достижения цели, после чего производится оценка степени риска через среднюю величину риска и коэффициент вариации.

*Сравнительная оценка риска* включает в себя сопоставление полученного уровня риска с некоторыми установленными границами в соответствии с принятыми критериями риска. В качестве критерия могут использоваться различные правила, например, установление одного граничного уровня, разделяющего риск на допустимый и недопустимый (т.е. требующий обработки). Возможно также применение двух граничных уровней и, соответственно, деление рисков на три группы: однозначно допустимый, однозначно недопустимый, а также средний уровень риска, относительно которого принятие решения требует дальнейшей проработки возможных способов обработки риска и соотнесения преимуществ и недостатков.

Выбор варианта оснащения ВМГ  $\Pi^*$  в условиях неопределенности может быть произведен на основе критерия минимума среднего ущерба при ограничениях на значения показателей результативности, временных и стоимостных показателей, а также на уровень приемлемого риска:

$$\begin{aligned} \Pi^* &= \operatorname{argmin}_{\Pi^i \in \{\Pi_n^{\text{доп}}\}} \{R_{U_n}\}, n = \overline{1, N}; \\ Y_i &\in \{Y_i^{\text{доп}}\}; \\ R_U &\leq R_U^{\text{доп}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Решение задачи по выбору варианта комплектования ВМГ в условиях неопределенности предполагается рассмотреть в последующих работах.

### **Заключение**

Оценка риска является основой для определения степени приемлемости риска и принятия решений относительно необходимости учета риска. Детальная идентификация и анализ рисков позволяют установить причинно-следственные связи между изменениями влияющих факторов, опасными событиями и их последствиями, что является источником информации для выбора методов учета риска.

Приведенные результаты могут быть использованы при оценке рисков в принятии решений по комплектованию ВМГ, выборе рациональных или оптимальных вариантов организации деятельности выездных метрологических групп в составе ведомственных метрологических служб.

### **Список литературы**

1. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М. : АСТ, 2006. 502 с.
2. Ефремов А. С., Васюкович Д. С., Пузанков С. В. Оценка технико-экономической эффективности функционирования системы поверочных органов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 47–55. doi: 10.21685/2307-5538-2022-3-5

3. Кравцов А. Н., Солдатенко В. С., Пузанков С. В. Математическая модель определения параметров риск-ориентированной стратегии метрологического обслуживания комплекта средств измерений // Вестник метролога. 2023. № 1. С. 3–10.
4. Бессонов Е. И., Бессонов П. Е., Чагин Д. А., Шестопалова О. Л. Интеллектуальное управление риском при эксплуатации сложных технологических систем : моногр. / под ред. А. Н. Миронова. СПб. : ВКА имени А. Ф. Можайского, 2008. 523 с.
5. Щеглов Д. М. Применение риск-ориентированного подхода к оценке влияния погрешности измерений параметров объекта на эффективность его испытаний // Вестник метролога. 2019. № 2. С. 15–19.
6. Гурнович Т. Г., Остапенко Е. А., Молчаненко С. А. Оценка и анализ рисков : учебник / под общ. ред. Т. Г. Гурнович. М. : КНОРУС, 2019. 252 с.
7. Восканян А. А., Кострикина И. А. Методика оценки рисков деятельности по поверке средств измерений // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 4. С. 51–57. doi: 10.21685/2307-5538-2022-4-7

### References

1. Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlynykh system = Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems*. Moscow: AST, 2006:502. (In Russ.)
2. Efremov A.S., Vasyukovich D.S., Puzankov S.V. Evaluation of the technical and economic efficiency of the functioning of the system of verification bodies. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2022;(3):47–55. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2022-3-5
3. Kravtsov A.N., Soldatenko V.S., Puzankov S.V. A mathematical model for determining the parameters of a risk-oriented strategy for metrological maintenance of a set of measuring instruments. *Vestnik metrologa = Bulletin of the Metrologist*. 2023;(1):3–10. (In Russ.)
4. Bessonov E.I., Bessonov P.E., Chagin D.A., Shestopalova O.L. *Intellektual'noe upravlenie riskom pri ekspluatatsii slozhnykh tekhnologicheskikh sistem: monogr. = Intelligent risk management in the operation of complex technological systems : monogr*. Saint Petersburg: VKA imeni A.F. Mozhayskogo, 2008:523. (In Russ.)
5. Shcheglov D.M. Application of a risk-based approach to assessing the impact of the measurement error of the object parameters on the effectiveness of its tests. *Vestnik metrologa = Bulletin of the Metrologist*. 2019;(2):15–19. (In Russ.)
6. Gurnovich T.G., Ostapenko E.A., Molchanenko S.A. *Otsenka i analiz riskov: uchebnik = Risk assessment and analysis : textbook*. Moscow: KNORUS, 2019:252. (In Russ.)
7. Voskanyan A.A., Kostrikina I.A. Methodology for risk assessment of activities for verification of measuring instruments. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2022;(4):51–57. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2022-4-7

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Андрей Станиславович Ефремов

кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)  
E-mail: vka@mil.ru

#### Andrey S. Efremov

Candidate of technical sciences, associate professor, lecturer of the sub-department of metrological support of armament, military and special equipment, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky (13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

#### Сергей Владимирович Пузанков

адъюнкт, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)  
E-mail: vka@mil.ru

#### Sergei V. Puzankov

Adjunct, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky (13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 29.05.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 30.06.2023**

**Принята к публикации/Accepted 28.07.2023**