

УДК 629.7.017

doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-2

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

С. В. Пузанков¹, Г. И. Афонин², Д. В. Емельянов³

^{1,2,3} Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

^{1,2,3} vka@mil.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Важной составляющей метрологического обеспечения технических систем является поверка средств измерений, выполняемая в поверочных подразделениях, входящих в состав метрологических служб. Процедура поверки средств измерений может осуществляться как стационарно, так и в местах их эксплуатации с применением мобильных метрологических комплексов. От эффективности функционирования мобильных метрологических комплексов зависит качество функционирования технических систем в целом. Одним из процессов жизненного цикла мобильных метрологических комплексов является процесс управления рисками, который должен быть непрерывным и итерационным. Управление рисками позволяет выбирать рациональные варианты комплектования и применения мобильных метрологических комплексов по назначению с учетом вероятности и размеров возможных последствий от неблагоприятных факторов. Целью работы является оценивание влияния риска на результативность метрологического обеспечения средств измерений с применением мобильных метрологических комплексов. Актуальность темы обусловлена важностью задач обеспечения эффективности поверочной деятельности при организации работ метрологических служб. *Материалы и методы.* Исследования основываются на использовании теории вероятностей и математической статистики, теории надежности и квалиметрии применительно к задачам оценки эффективности функционирования мобильных метрологических комплексов. *Результаты.* Представлен краткий анализ управления рисками на стадиях жизненного цикла, описание мероприятий по снижению показателей риска на каждой из стадий, выбор и реализация которых может обеспечить снижение величины возможного ущерба и выполнение предъявляемых требований. *Вывод.* Представленная модель может быть использована при оценивании эффективности функционирования мобильных метрологических комплексов при организации хозяйственной деятельности ведомственных метрологических служб.

Ключевые слова: мобильный метрологический комплекс, жизненный цикл, эффективность, риск, ущерб

Для цитирования: Пузанков С. В., Афонин Г. И., Емельянов Д. В. Модель оценивания эффективности функционирования мобильного метрологического комплекса на основе риск-ориентированного подхода // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 4. С. 16–21. doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-2

MODEL OF EVALUATION OF MOBILE METROLOGICAL COMPLEX FUNCTIONING EFFICIENCY ON THE BASIS OF RISK-ORIENTED APPROACH

S.V. Puzankov¹, G.I. Afonin², D.V. Emelyanov³

^{1,2,3} Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

^{1,2,3} vka@mil.ru

Abstract. *Background.* An important component of metrological support of technical systems is verification of measuring instruments, performed in verification departments, which are part of metrological services. Verification procedure of measuring instruments can be carried out both stationary and in places of their operation with the use of mobile metrological complexes. The efficiency of functioning of mobile metrological complexes essentially determines the quality of functioning of technical systems as a whole. One of the processes of the life cycle of mobile metrological complex is the process of risk management, which should be continuous and iterative. Risk management allows to choose rational variants of acquisition and application of mobile metrological complex by purpose taking into account probability and sizes of possible consequences from unfavorable factors. The purpose of the work is to assess the impact of risk on the performance of metrological services. The relevance of the topic is due to the importance of the tasks of ensuring the

effectiveness of verification activities in the organization of metrological services work. *Materials and methods*. The research is based on the use of probability theory and mathematical statistics, reliability theory and qualimetry as applied to the tasks of assessing the efficiency of mobile metrological complexes. *Results*. A brief analysis of risk management at the stages of the life cycle is presented, description of measures to reduce risk indicators at each of the stages, selection and implementation of which can ensure a reduction in the amount of possible damage and fulfillment of requirements. *Conclusion* The presented model can be used at estimation of efficiency of functioning of mobile metrological complexes at the organization of economic activity of departmental metrological services.

Keywords: mobile metrological complex, life cycle, efficiency, risk, damage

For citation: Puzankov S.V., Afonin G.I., Emelyanov D.V. Model of evaluation of mobile metrological complex functioning efficiency on the basis of risk-oriented approach. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control*. 2023;(4):16–21. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-2

Введение

В условиях наличия неопределенности и неполноты информации, используемой для принятия управленческого решения, необходимо рассматривать множество вариантов развития событий и учитывать влияние большого количества факторов для выбора оптимального плана действий, что неизбежно приводит к возникновению рисков. Оценивание риска является основой для принятия управленческих решений, в том числе на разработку, проектирование и эксплуатацию сложных технических систем. Под риском понимается следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей, в случае функционирования мобильных метрологических комплексов (ММК) – невыполнение запланированного объема работ по метрологическому обслуживанию средств измерений.

Одним из возможных направлений преодоления данного затруднения является переход к моделям функционирования ММК, базирующихся на риск-ориентированном подходе. Данный подход находит в последние годы достаточно широкое применение, как в нашей стране, так и за рубежом. Все больший интерес риск-ориентированный подход вызывает при решении задач метрологического обеспечения деятельности различных организаций [1–3].

Управление рисками на стадиях жизненного цикла ММК

Жизненный цикл (ЖЦ) ММК представляет собой совокупность взаимообусловленных процессов последовательного изменения состояния ММК от начала исследования и обоснования его разработки до окончания его эксплуатации [1]. Указанные процессы ЖЦ объединяются в стадии. Стадия ЖЦ ММК представляет собой часть ЖЦ, которая характеризуется определенным состоянием ММК, совокупностью предусмотренных стадией работ и их конечными результатами. ЖЦ – это не временной период существования ММК (одного наименования и обозначения), а процесс последовательного изменения состояния, обусловленный видом производимых на ММК воздействий. При этом ММК конкретного типа может одновременно находиться в нескольких стадиях ЖЦ, например в стадиях производства, эксплуатации и капитального ремонта.

В общем случае выделяются пять стадий ЖЦ: исследование и обоснование разработки; разработка; производство; эксплуатация; капитальный ремонт [4]. Для исследования системы должна быть создана модель ЖЦ, которая включает одну или несколько моделей каждой стадии. На каждой стадии принимаются решения и при этом необходимо учитывать влияние неопределенностей и связанные с ними риски.

Управление риском, или менеджмент риска (риск-менеджмент) – это скоординированные действия по управлению объектом с учетом риска [5]. В процессе управления рисками проводятся определение, оценивание, обработка и мониторинг рисков, возникающих на стадиях ЖЦ. На каждой стадии ЖЦ ММК должны быть решены следующие задачи по оцениванию риска:

- разработка планов идентификации, оценивания и уменьшения рисков;
- идентификация текущих рисков, определение и выполнение мероприятий по их уменьшению;
- определение текущих рисков, определение и выполнение мероприятий по уменьшению рисков;
- мониторинг характеристик функционирования, идентификация, классификация и составление отчетов об отклонениях, недостатках, отказах, последствиях и т.д.

Оценивание эффективности функционирования ММК с учетом риска

Под эффективностью в соответствии с работами [6, 7] понимают комплексное операционное свойство целенаправленного процесса функционирования, характеризующее его приспособленность к выполнению стоящей перед системой задачи. Наиболее полно качество сложных технических систем, к которым относятся и ММК, можно оценить по совокупности технико-экономических показателей, характеризующих процессы их целевого функционирования – показателей эффективности [8].

Требования к качеству и эффективности функционирования ММК должны задаваться на стадии исследования и обоснования разработки, обеспечиваться на стадии производства и сохраняться на стадии эксплуатации. На всех стадиях ЖЦ ММК сначала необходимо задать, обосновать необходимый или достигнутый уровень качества, а потом воздействовать на эффективность функционирования различными методами и способами.

Эффективность функционирования ММК зависит от уровня эффективности достигаемого на каждой из стадий ЖЦ:

$$\Theta = f(\Theta_i, k_i, m_i), i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где Θ_i – показатель эффективности функционирования ММК на стадиях ЖЦ; k_i – коэффициент, учитывающий качество мероприятий по повышению эффективности функционирования ММК на стадиях ЖЦ; m_i – коэффициент, учитывающий качество выполняемых мероприятий и потери эффективности из-за ошибок, допущенных на стадиях ЖЦ; N – количество стадий ЖЦ.

На $(i+1)$ -й стадии ЖЦ эффективность функционирования ММК определяется выражением

$$\Theta_{i+1} = \Theta_i m_{i+1} + (1 - \Theta_i) k_{i+1} m_{i+1}. \quad (2)$$

При оценивании эффективности функционирования ММК необходимо учитывать множество неопределенностей, которые в общем случае характеризуют состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей. При планировании применения ММК в силу тех или иных случайных факторов и причин фактически достигаемый результат деятельности становится случайным, а результат работ может отличаться от запланированного. Таким образом, лицо принимающее решение на задействование ММК по целевому предназначению сталкивается с необходимостью учета риска. 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 [9].

Под эффективностью функционирования ММК будем понимать нормированный к затратам результат оказания услуг на заданном интервале времени при соответствующем уровне риска. Показатель эффективности (Θ) для каждой стадии ЖЦ ММК можно записать в виде функционала

$$\Theta = f(K, T, C, R), \quad (3)$$

где K – показатели качества услуг (применительно к основной производственной деятельности ММК целенаправленным процессом их функционирования является процесс проверки средств измерений); T – время функционирования; C – ресурсы, затрачиваемые на оказание услуг; R – риск.

В работе [10] эффективность функционирования систем предлагается оценивать с помощью функционала:

$$\Theta = \sum_{S \in G_S} W_S P_S, \quad (4)$$

где W_S – нормированный показатель эффективности функционирования системы в состоянии S ; P_S – вероятность S -го состояния; G_S – пространство состояний системы.

В качестве показателя эффективности функционирования ММК предложено использовать количество «результативных работ» АІ, которое определяется в соответствии с выражением:

$$A_{I_S} = I_S T_S P_{T_S}, \quad (5)$$

где I_S – производительность ММК в состоянии S ; T_S – время нахождения ММК в состоянии S ; P_{T_S} – вероятность того, что ММК будет функционировать в состоянии S в течение времени T_S .

С учетом (5) выражение (4) примет вид

$$\Theta = \sum_{S \in G_S} I_S T_S P_{T_S} P_S. \quad (6)$$

При оценивании эффективности функционирования ММК в соответствии с выражением (6) будет учитываться эффект «накопления результативной работы».

В результате воздействия дестабилизирующих факторов (изменение свойств и характеристики самих ММК, параметров объектов обслуживания, условий выполнения работ) эффективность ММК будет уменьшаться, т. е. системе будет наноситься ущерб. Величина риска определяется выражением:

$$R_S = C_S P_{C_S}, \quad (7)$$

где R_S – риск ММК в состоянии S ; C_S – величина ущерба при переходе ММК в состоянии S ; P_{C_S} – вероятность нанесения ущерба C_S .

Суммарный риск при условии независимости угроз и уязвимостей определяется выражением

$$R_S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_{S_{ij}} P_{S_{ij}}, \quad (8)$$

где $C_{S_{ij}}$ – ущерб, наносимый ММК при наличии i -й уязвимости и реализации j -й угрозы; $P_{S_{ij}}$ – вероятность реализации j -й угрозы при наличии i -й уязвимости.

Приняв в качестве параметра ущерба величину уменьшения количества результативной работы $C_S = (I - I_S) T_S$, получим выражение для определения эффективности функционирования ММК:

$$\Theta = I T P_T - \sum_{S \in G_S} R_{T_S}, \quad (9)$$

где $R_{T_S} = C_S P_{T_S} P_S$ – величина риска на интервале длительностью T_S .

Выбор исходного варианта комплектования ММК на стадии замысла или разработки может обеспечить как выполнение требований за счет выбора новых (перспективных) решений, так и привести к снижению показателей эффективности при не полном учете всех влияющих дестабилизирующих факторов. Снижение показателей эффективности возможно и на более поздних стадиях ЖЦ.

Одним из этапов процесса управления рисками является этап обработки риска, который включает: выбор одного или нескольких вариантов мероприятий по обработке риска; планирование проведения мероприятий по обработке риска; проведение мероприятий по обработке риска. При выборе мероприятий по обработке риска необходимо оценивать эффект от их реализации и требуемые затраты. Эффективность мероприятий может оцениваться по величине устраненного риска ΔR_S :

$$\Delta R_S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \Delta R_{ij}, \quad (10)$$

где ΔR_{ij} – величина снижения риска от j -й угрозы при наличии i -й уязвимости.

Величина снижения риска ΔR_{ij} определяется выражениями

$$\Delta R_{ij} = \Delta c_{ij} \Delta P_{ij}, \quad (11)$$

$$\Delta R_{ij} = c_{ij} q_{ij}, \quad (12)$$

где q_{ij} – вероятность того, что -я угроза не будет реализована при наличии i -й уязвимости.

Эффективность мероприятий, направленных на уменьшения величины ущерба, определяется с использованием выражения (11). В случае принятия мер по снижению вероятности реализации угроз для определения величины снижения рисков ΔR_{ij} используется выражение (12).

Выбор и реализация соответствующих мероприятий по снижению показателей риска на каждой из стадий может обеспечить снижение величины возможного ущерба и выполнение предъявляемых требований. Увеличение числа стадий ЖЦ, на которых осуществляются мероприятия по управлению риском, может привести к снижению потерь, но при этом необходимо учитывать и возможное увеличение затрат. Наибольший эффект от увеличения числа контролируемых стадий ЖЦ следует ожидать при создании сложных, уникальных систем, в то время как при создании простых, хорошо отработанных систем целесообразно уменьшать число таких стадий.

Заключение

Представленная модель может быть использована при оценивании рисков выполнения метрологического обслуживания средств измерений с использованием ММК при их планировании, комплектовании ММК рабочими местами, выборе рациональных или оптимальных вариантов организации деятельности выездных метрологических групп в составе ведомственных метрологических служб.

В дальнейших исследованиях следует рассмотреть представленную модель в условиях необходимости перераспределения имеющихся ограниченных ресурсов для проведения операций метрологического обслуживания средств измерений с помощью ММК.

Список литературы

1. Стаинов В. В., Серых И. Р., Чернышева Е. В., Дегтярь А. Н. Риск-ориентированный подход в области промышленной безопасности // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 12. С. 67–72.
2. Коточигов Р. В., Епифанов Е. Н., Чирков П. О. [и др.]. К вопросу о риск-ориентированном подходе при проведении проверок объектов защиты // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. Т. 1. С. 862–864.
3. Федосов А. В., Закирова В. А., Абдрахимова И. Р. Перспективы применения риск-ориентированного подхода в области промышленной безопасности // Нефтегазовое дело. 2018. № 1. С. 145–161.
4. Солдатенко В. С., Ширямов О. А. Техническая эксплуатация и ремонт военной измерительной техники : учеб. пособие. СПб. : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2020. 162 с.
5. Петров Г. Д., Птушкин А. И., Звягин В. И. [и др.]. Жизненный цикл и эксплуатационное качество вооружения и военной техники : учебник / под ред. М.М. Пенькова. СПб. : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. 275 с.
6. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели. Л. : Министерство обороны СССР, 1989. 647 с.
7. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М. : АСТ, 2006. 502 с.
8. 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
9. 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.
10. Ушаков И. А. Эффективность функционирования сложных систем // О надежности сложных технических систем. М. : Сов. радио, 1966.

References

1. Statinov V.V., Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar' A.N. Risk-oriented approach in the field of industrial safety. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2018;(12): 67–72. (In Russ.)
2. Kotochigov R.V., Epifanov E.N., Chirkov P.O. et al. On the issue of a risk-oriented approach when conducting inspections of protection facilities. *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy*

- chrezvychaynykh situatsiy = Problems of ensuring safety in the aftermath of emergencies.* 2017;1:862–864. (In Russ.)
3. Fedosov A.V., Zakirova V.A., Abdrakhimova I.R. Prospects for the application of a risk-based approach in the field of industrial safety. *Neftegazovoe delo = Oil and gas business.* 2018;1:145–161. (In Russ.)
 4. Soldatenko V.S., Shiryamov O.A. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i remont voennoy izmeritel'noy tekhniki: ucheb. posobie = Technical operation and repair of military measuring equipment: textbook.* Saint Petersburg: VKA im. A.F. Mozhayskogo, 2020:162. (In Russ.)
 5. Petrov G.D., Ptushkin A.I., Zvyagin V.I. et al. *Zhiznennyy tsikl i ekspluatatsionnoe kachestvo vooruzheniya i voennoy tekhniki: uchebnik = Life cycle and operational quality of weapons and military equipment : textbook.* Saint Petersburg: VKA im. A.F. Mozhayskogo, 2016:275. (In Russ.)
 6. Petukhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Ch. 1. Metodologiya, metody, modeli = Fundamentals of the theory of the effectiveness of purposeful processes. Part 1. Methodology, methods, models.* Leningrad: Ministerstvo oborony SSSR, 1989:647. (In Russ.)
 7. Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlyennykh sistem = Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems.* Moscow: AST, 2006:502. (In Russ.)
 8. Efremov A.S., Vasyukovich D.S., Puzankov S.V. Assessment 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
 9. 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.)
 10. Ushakov I.A. Efficiency of complex systems functioning. *O nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem = On the reliability of complex technical systems.* Moscow: Sov. radio, 1966. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

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, St. Petersburg, Russia)

Глеб Игоревич Афонин

кандидат технических наук, 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

Gleb I. Afonin

Candidate of technical sciences,
lecturer of the sub-department
of metrological support of arms,
Military Space Academy
named after A.F. Mozhaisky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Денис Вячеславович Емельянов

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

Denis V. Emelyanov

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

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

Поступила в редакцию / Received 12.08.2023

Поступила после рецензирования / Revised 11.09.2023

Принята к публикации / Accepted 09.10.2023