



УДК 623.517.977.5
ГРНТИ 78.21.35

ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЕННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

*Г.В. БЕРЕСТЕВИЧ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Ю.В. ШИПКО, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.В. СИНЮКОВ, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
М.А. ОБЛОГИН
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье проведены сравнение и оценка вариантов построения системы автоматизированного мониторинга состояния военной измерительной техники. Определены равные по степени значимости частные критерии и их показатели, характеризующие свойства разрабатываемой системы мониторинга. Используя функцию формализации субъективных неопределенностей в многокритериальных задачах (подход Харрингтона) получено выражение, позволяющее определить обобщенный критерий желательности разрабатываемой системы и сравнить варианты ее реализации, характеризующиеся различными особенностями построения. Выполнена оценка предлагаемых вариантов. По результатам имитационного моделирования определен наиболее рациональный вариант.

Ключевые слова: военная измерительная техника, система мониторинга, функция желательности, экспертное оценивание, частный показатель, критерий.

MILITARY MEASURING EQUIPMENT CONDITION MONITORING SYSTEM FORMATION OPTIONS EVALUATION USING THE GENERALIZED DESIRABILITY FUNCTION

*G.V. BERESTEVICH, Candidate of Technical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
YU.V. SHIPKO, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
V.V. SINYUKOV, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
M.A. OBLOGIN
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article compares and military measuring equipment condition monitoring system formation options evaluation. Particular criteria of equal importance and their indicators that characterize the properties of the developed monitoring system are determined. Using the function of formalization of subjective uncertainties in multi-criteria problems (Harrington's approach), an expression is obtained that allows us to determine the desirability generalized criterion of the developed system and compare its implementation options characterized by various construction features. The proposed options were evaluated. Based on the results of simulation, the most rational option was determined.

Keywords: military measuring equipment, monitoring system, desirability function, expert evaluation, private indicator, criterion.



Введение. Современная система метрологического обеспечения (МлО) Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ) является сложной, многоуровневой системой, территориально распределенной по военным округам страны. Управление МлО осуществляется посредством использования существующих каналов связи и сети передачи данных ВС РФ, а также фельдъегерско-почтовой службы и почты России. Количество передаваемой информации о состоянии средств измерений зависит от перечня задач МлО конкретного воинского формирования и, как правило, имеет значительный объем. Однако, существующая система управления МлО ВС РФ не полностью соответствует требованиям, предъявляемым к современным системам управления, прежде всего по временным показателям.

С целью повышения эффективности управления МлО в ВС РФ организованы исследования по созданию автоматизированной системы мониторинга состояния парка средств измерений, рабочих и военных эталонов. При этом, по мнению заказчика, формируемая система мониторинга должна быть рациональной с точки зрения стоимостных показателей, иметь минимальные задержки между временем получения данных о состоянии средств измерений и временем принятия управленческих решений.

Актуальность. Для выбора или построения новой концепции и структуры системы мониторинга заказчиком предлагаются четыре альтернативных варианта. Особенности построения системы по 1-му варианту являются использование сертифицированных рабочих мест, связанных «закрытыми» линиями связи, и доступность любому пользователю системы мониторинга всех данных о средствах измерений военного назначения (СИ ВН), включая конфиденциальные. Вариант 2 характеризуется использованием существующих рабочих мест пользователей с установленным специализированным программным обеспечением, связанных открытыми линиями связи и жесткими ограничениями номенклатуры показателей состояния СИ ВН. Система мониторинга, построенная по варианту 3, характеризуется отсутствием дополнительных ограничений на номенклатуру показателей состояния СИ ВН, однако, информация передается на «закрытых» носителях. Особенностью построения системы мониторинга по варианту 4 является ограничение номенклатуры показателей только «открытыми» данными о состоянии СИ ВН и передача информации на «открытых» носителях.

Основной трудностью при оценке предложенных вариантов, а также разработки концепции и общей структуры системы мониторинга является необходимость принятия решения в условиях неопределенности, когда важнейшие предъявляемые требования и характеристики носят качественный характер. В этих условиях решение не может быть принято на основе точных расчетов ввиду многообразия сопутствующих факторов или вследствие того, что некоторые из этих факторов не поддаются измерению [1, 2]. Потребность разрешения этих противоречий приводит к необходимости поиска метода, позволяющего даже при отсутствии полной формализации снизить уровень неопределенности и определить обобщенный показатель, позволяющий выполнить оценку предложенных вариантов.

Одним из таких подходов является преобразование качественных характеристик частных откликов в безразмерную шкалу, относящуюся к психофизическим шкалам, в частности, шкалу желательности Харрингтона [3, 4]. Этот метод с использованием вербально-числовой шкалы широко применяется как инструментальный в научных исследованиях различных сфер: техники, медицины, экономики и др. Вербально-числовые шкалы позволяют измерить степень интенсивности критериального свойства, имеющего субъективный характер. Так, в данной задаче оценка и выбор наиболее рационального из 4-х альтернативных вариантов построения структуры автоматизированной системы мониторинга носит субъективный характер.

Цель работы – оценка и выбор наиболее рационального из четырех альтернативных вариантов построения структуры автоматизированной системы мониторинга с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона.

Метод формализации субъективных неопределенностей в многокритериальных задачах (подход Харрингтона) [3] представляет собой математический инструментальный перевода



реальных значений частных параметров (признаков/показателей, характеризующих разрабатываемую систему мониторинга) y_j , $j=1,2,\dots,p$, где p – количество частных параметров (критериев), в единую безразмерную числовую шкалу желательности v на интервале $[0; 1]$. На рисунке 1 представлена кривая, определяемая функцией Харрингтона.

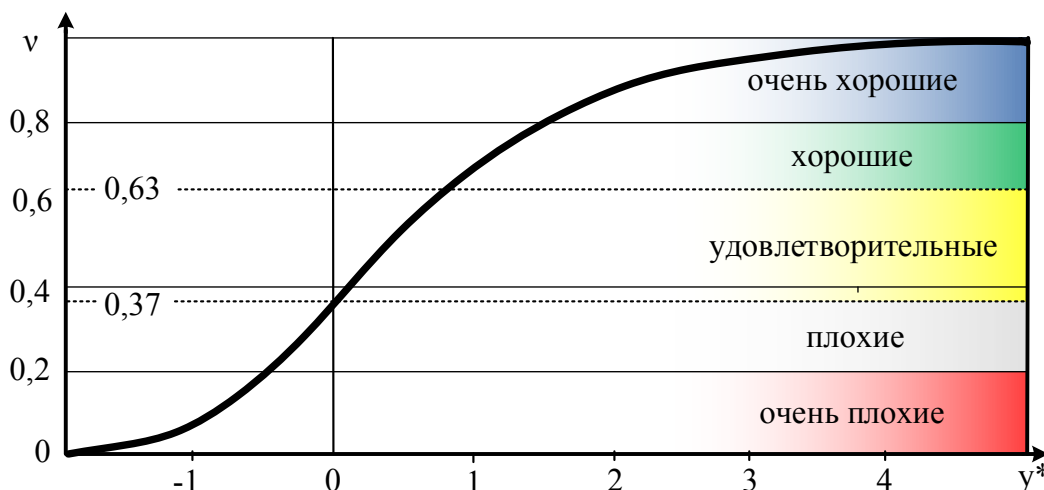


Рисунок 1 – Функция желательности Харрингтона v (отображены вербальные формулировки качества условий в интервалах, соответствующих базовым точкам 0,20; 0,37; 0,63; 0,80)

Функция имеет несколько базовых точек (0,20; 0,37; 0,63; 0,80), что позволяет задавать границы градаций желательности не произвольным, а строгим образом [3, 4]. Это дает возможность не только оценить абсолютные величины показателей, но и выявить, насколько они близки к области ухудшения, руководствуясь интервальными диапазонами с соответствующими терминами: $[0; 0,2]$ – «очень плохо»; $[0,2; 0,37]$ – «плохо»; $[0,37; 0,63]$ – «удовлетворительно»; $[0,63; 0,8]$ – «хорошо»; $[0,8; 1]$ – «очень хорошо». Задача эксперта в этом случае – правильно поставить в соответствие значениям базовых точек адекватные значения параметров (для построения уравнения достаточно две точки). Функция Харрингтона имеет вид экспоненциальной зависимости [3]:

$$v(y_j^*) = \exp(-\exp(-y_j^*)), \quad (1)$$

где y_j^* – кодированное значение частного признака y_j .

При кодировании признака y_j используется линейная зависимость [4]:

$$y_j^* = b_{0j} + b_{1j} y_j, \quad (2)$$

где коэффициенты b_{0j} и b_{1j} определяются заданием для двух значений параметров y_j соответствующих значений $v(y_j^*)$ в интервале $[0,2; 0,8]$, где условно принимается линейный характер функции желательности.

Обобщенный показатель (обобщенная функция желательности) рассчитывается как среднее геометрическое частных желательностей [3]:

$$V = \left[\prod_{j=1}^p v(y_j^*) \right]^{1/p}. \quad (3)$$



Такое представление рассматривается как удобная модель психологической реакции исследователя. Использование уровня $V=0,37$ отвечает модели принятия решений на проведение соответствующих мероприятий.

Для разработки рациональной структуры системы мониторинга и оценки ее эффективности в качестве равных по степени значимости частных показателей определены: общая стоимость, информативность, оперативность передачи информации, потенциальный эффект.

Общая стоимость (y_1) – суммарная стоимость, включающая стоимость оборудования рабочего места, программного обеспечения, линий и каналов связи при необходимости (тыс. руб.).

Информативность (y_2) – количество данных о состоянии СИ ВН (в т.ч. конфиденциальных), которые можно получить в соответствии с вариантом построения системы мониторинга (%).

Оперативность (y_3) – способность выполнять срочные (оперативные) задачи в области МЛО, стоящие перед метрологическими подразделениями и другими воинскими формированиями (сутки).

Потенциальный эффект (y_4) – способность системы мониторинга, построенной по данному варианту, к развитию и совершенствованию за счет технических и программных средств (баллы).

Каждый сформулированный частный показатель характеризует разрабатываемую систему мониторинга в разных аспектах, $y_j, j=1,2,\dots,p$. В общем случае каждый показатель y_j имеет свой экономический смысл и размерность. Чтобы их объединять или сравнивать, необходимо, во-первых, ввести для каждого некоторую безразмерную шкалу. Во-вторых, установить однотипную шкалу, чтобы параметры были сравнимые. Далее определяется правило комбинирования частных параметров в обобщенный показатель.

Требуется определить обобщенный показатель, учитывающий все аспекты разрабатываемой системы мониторинга. Модель такого показателя строится как обобщенная функция желательности (3).

Для рассматриваемых частных показателей имеют место односторонние ограничения $y_j \leq y_{j \max}$ или $y_j \geq y_{j \min}$. В этом случае частная функция желательности $v(y_j^*)$ для признака y_j применяется в виде экспоненциальной зависимости (1). В качестве верхней границы функции желательности применяется значение 0,80 – верхняя граница для «хорошо», для нижней используется значение 0,20 – нижняя граница для «плохо». При установлении границ допустимых значений частных показателей $y_{j \max}$ или $y_{j \min}$ использовались соответствующие выводы экспертного опроса [5, 6, 7]. Для определения значений коэффициентов b_{0j} и b_{1j} показателя y_j использовались системы уравнений вида:

$$\begin{cases} \exp(-\exp(-(b_{0j} + b_{1j} \cdot y_{j|v=0,8}))) = 0,80 \\ \exp(-\exp(-(b_{0j} + b_{1j} \cdot y_{j|v=0,2}))) = 0,20. \end{cases} \quad (4)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1.



Таблица 1 – Расчетные параметры частных показателей

Частный показатель	Значения функции желательности		Коэффициенты	
	0,80	0,20	b_{0j}	b_{1j}
y_1 , тыс. руб.	200	500	2,8200	-0,0066
y_2 , %	80	40	-2,4518	0,0494
y_3 , сутки	1	14	1,6520	-0,1520
y_4 , баллы	8	4	-2,4518	0,4940

С учетом коэффициентов, представленных в таблице 1, формулы для преобразования показателей в частные функции желательности согласно (1) принимают вид:

$$\begin{aligned}
 v(y_1^*) &= \exp(-\exp(-2,8200 + 0,0066 y_1)), \\
 v(y_2^*) &= \exp(-\exp(2,4518 - 0,0494 y_2)), \\
 v(y_3^*) &= \exp(-\exp(-1,6520 + 0,1520 y_3)), \\
 v(y_4^*) &= \exp(-\exp(2,4518 - 0,4940 y_4)).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

В итоге, обобщенная функция желательности (или обобщенный показатель рациональной системы мониторинга) согласно (3) представляется в виде

$$\begin{aligned}
 V = \exp \left[-\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \exp(-y_j^*) \right] &= \exp \left\{ -\frac{1}{4} [\exp(-2,8200 + 0,0066 y_1) + \exp(2,4518 - 0,0494 y_2) + \right. \\
 &\left. + \exp(-1,6520 + 0,1520 y_3) + \exp(2,4518 - 0,4940 y_4)] \right\}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Для оценки четырех вариантов построения системы мониторинга, предлагаемых заказчиком, по критерию обобщенной функции желательности и выбора наилучшего проведен имитационный эксперимент. В качестве исходной информации использовались данные экспертного опроса, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Данные экспертного оценивания вариантов реализации системы мониторинга

Вариант построения системы	Частный показатель			
	y_1	y_2	y_3	y_4
1	плохо	очень хорошо	очень хорошо	очень хорошо
2	очень хорошо	удовлетворит.	хорошо	удовлетворит.
3	удовлетворит.	хорошо	плохо	хорошо
4	хорошо	удовлетворит.	очень плохо	очень плохо

В имитационной модели в качестве состояния принимается некоторая реализация системы мониторинга, отвечающая набором определенных значений частных показателей y_j . Для имитации состояний системы мониторинга проигрывается n раз (по каждому варианту проекта) комплекс значений y_j из соответствующих распределений показателей. Условно принимается нормальный закон распределения частных показателей $N(m_{jk}, \sigma_{jk})$, где m_{jk}, σ_{jk} – среднее и среднее квадратическое отклонение j -го показателя по k -му варианту проекта.

Формирование числовой последовательности x_i стандартизированного ряда нормального распределения $N(0, 1)$ осуществляется процедурой псевдо-вероятностного метода генерации



цифровых последовательностей. Тогда последовательность значений показателей отражается в виде: $y_{jki} = x_i \cdot \sigma_{jk}^* + m_{jk}^*$, где m_{jk}^*, σ_{jk}^* – оценки среднего и среднего квадратического отклонения показателя y_j по k -му варианту проекта, $k = \overline{1,4}$, $i = \overline{1,n}$, $n = 100$ – условный объем моделируемой выборки.

В соответствии с данными таблицы 1 условно приняты следующие оценки среднего и среднего квадратического отклонения показателей по каждому варианту построения системы мониторинга (таблица 3).

Таблица 3 – Данные к имитационному моделированию частных показателей по вариантам реализации системы мониторинга

Вариант построения системы	Частный показатель			
	y_1	y_2	y_3	y_4
1	N (500; 50)	N (85; 10)	N (1,0; 0,2)	N (8,5; 0,2)
2	N (150; 50)	N (50; 10)	N (1,0; 0,3)	N (5,0; 0,2)
3	N (400; 50)	N (70; 10)	N (14,0; 1,0)	N (8,0; 0,2)
4	N (200; 50)	N (50; 10)	N (15,0; 1,0)	N (3,0; 0,2)

В результате имитационного моделирования по каждому варианту получены следующие распределения обобщенного показателя (рисунок 2).

Характеристика распределения обобщенного показателя, представленная на рисунке 2, позволяет сравнить варианты построения системы мониторинга и определить наиболее рациональный с точки зрения экспертов. В соответствии с представленными результатами оценки 1 и 2 варианты построения системы мониторинга имеют сравнительно высокие значения обобщенного показателя D , медианные значения равны соответственно 0,58 и 0,55. Для этих вариантов характерны высокие значения информативности и оперативности. Вариант 3 также является приемлемым, ему соответствует медианное значение 0,46, он характеризуется низкой оперативностью.

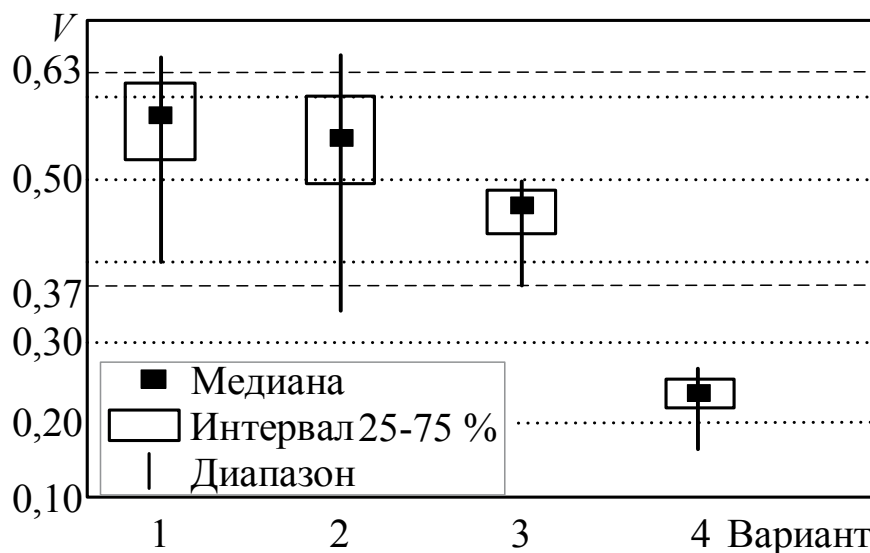


Рисунок 2 – Характеристики распределения обобщенного показателя для различных вариантов построения системы

Значения по варианту 4 лежат ниже критического уровня 0,37, что соответствует условиям «хуже удовлетворительных» (т. е. использование варианта 4 полностью исключается). Этот вариант характеризуется низкими значениями оперативности и потенциального эффекта.



Выводы. Использование распределения обобщенного показателя (6) и последующего имитационного моделирования позволило сравнить и оценить предлагаемые варианты построения системы мониторинга: наиболее приемлемым является 1-й вариант ($V = 0,58$), затем соответственно следуют 2-й ($V = 0,55$) и 3-й ($V = 0,46$), вариант 4 ($V = 0,23$) является неприемлемым, так как его обобщенный показатель ниже критического уровня. На основании полученных результатов исследования можно утверждать, что наиболее рациональным вариантом системы может стать вновь разработанный, который будет сочетать в себе сильные стороны 1-го варианта при ограничении стоимостного показателя. Применение рационального варианта построения системы мониторинга позволит повысить эффективность управления метрологическим обеспечением ВС РФ на основе постоянного мониторинга состояния парка средств измерений, рабочих и военных эталонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокошкин А.А. Методологические проблемы прогнозирования в интересах национальной безопасности России. М.: Институт востоковедения РАН, 2014. 98 с.
2. Махутов Н.А., Пермяков В. Н., Ахметханов Р.С. Диагностика и мониторинг состояния сложных технических систем: учебное пособие / Н.А. Махутов, В.Н. Пермяков, Р.С. Ахметханов. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. 632 с.
3. Harrington E.C. The desirable function// Industrial Quality Control, 1965. V. 21. № 10. P. 494–498.
4. Лялькина Г.Б., Бердышев О.В. Математическая обработка результатов эксперимента. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2013. 78 с.
5. Бестужев-Лада И.В. Рабочая книга по прогнозированию. М.: Мысль, 1982. 430 с.
6. Гуцыкова С.В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. М.: Институт психологии РАН, 2011. 144 с.
7. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.

REFERENCES

1. Kokoshkin A.A. Metodologicheskie problemy prognozirovaniya v interesah nacional'noj bezopasnosti Rossii. M.: Institut vostokovedeniya RAN, 2014. 98 p.
2. Mahutov N.A., Permyakov V. N., Ahmethanov R.S. Diagnostika i monitoring sostoyaniya slozhnyh tehnicheskikh sistem: uchebnoe posobie / N.A. Mahutov, V.N. Permyakov, R.S. Ahmethanov. Tyumen': Tyumenskij industrial'nyj universitet, 2017. 632 p.
3. Harrington E.C. The desirable function// Industrial Quality Control, 1965. V. 21. № 10. pp. 494–498.
4. Lyal'kina G.B., Berdyshev O.V. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov `eksperimenta. Perm': Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet, 2013. 78 p.
5. Bestuzhev-Lada I.V. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu. M.: Mysl', 1982. 430 p.
6. Gucykova S.V. Metod `ekspertnyh ocenok. Teoriya i praktika. M.: Institut psihologii RAN, 2011. 144 p.
7. Orlov A.I. Organizacionno-`ekonomicheskoe modelirovanie. Ch. 2: `Ekspertnye ocenki. M.: MG TU im. N. `E. Baumana, 2011. 486 p.

© Берестевич Г.В., Шипко Ю.В., Синюков В.В., Облогин М.А., 2020

Берестевич Г.В., кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил),



Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Шипко Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, yshipko@mail.ru.

Синюков Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, sinukovhome@mail.ru.

Облогин Михаил Александрович, младший научный сотрудник отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.