Методика обеспечения достоверности результатов метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники

Technique for ensuring the reliability of the results of metrological expertise of rocket and space technology samples

Гусеница / Gusenitsa Y.
Ярослав Николаевич
(yaromir226@mail.ru)
кандидат технических наук.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского),
преподаватель кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники.
г. Санкт-Петербург

Новиков / Novikov A.
Александр Николаевич
(novalloll@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
доцент кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: метрологическая экспертиза – metrological examination; субъективность оценок – subjectivity of evaluations; уровень компетентности – level of competence; автоматизированное рабочее место – workstation.

Проведен анализ существующего научно-методического обеспечения, используемого при проведении метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники. Представлена методика обеспечения достоверности результатов метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники, позволяющая, в отличие от существующих, учесть субъективность оценок, а также уровень компетентности метрологов-экспертов. Данная методика может быть реализована в виде программного обеспечения автоматизированного рабочего места метролога-эксперта, которое по мере участия каждого привлекаемого эксперта позволит корректировать и вырабатывать обоснованное решение о выявленных несоответствиях при проведении метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники.

The analysis of the existing scientific and methodological support used in the metrological examination of rocket and space technology samples has been carried out. The technique of ensuring the reliability of the results of metrological expertise of rocket and space technology samples has been presented, which, in contrast to existing ones, allows taking into account the evaluations subjectivity, as well as the level of metrologists-experts' competence. This methodology can be implemented in the form of software for the expert metrologist workstation, which, at each involved expert participation, will allow correcting and producing an informed decision about the detected discrepancies during the metrological examination of rocket and space technology samples.

Введение

Современный этап развития геополитической обстановки в мире характеризуется острым соперничеством ведущих стран мира за сферы влияния, источники сырья и рынки сбыта. Данная тенденция затрагивает различные сферы деятельности Российской Федерации, в том числе и космическую отрасль.

Успешность развития космической отрасли зависит от дееспособности, надежности и готовности к применению ракетно-космической техники. Достижение высоких значений перечисленных характеристик возможно только при условии реализации всего комплекса мероприятий метрологического обеспечения образцов ракетно-космической техники на всех этапах их жизненного цикла, начиная с исследований и обоснования разработки и заканчивая снятием с эксплуатации и утилизацией [1, 2]. При этом определяющее значение на начальных стадиях жизненного цикла образцов ракетно-космической техники отводится метрологической экспертизе, под которой понимается анализ и оценка правильности принятых решений по метрологическому обеспечению, направленных на обеспечение единства, требуемой точности измерений и достоверности контроля параметров технического состояния и тактико-технических характеристик образцов ракетно-космической техники.

Вместе с тем анализ существующего научно-методического обеспечения проведения метрологической экспертизы показывает, что оно не учитывает новые условия контроля «метрологического совершенства» образцов ракетно-космической техники [3–5]. В частности, существующие методики не учитывают субъективность оценок, а также уровень компетентности метрологов-экспертов, которые оказывают существенное значение на результаты метрологической экспертизы. Кроме того, в настоящее время фактически отсутствуют методики, реализующие системный подход в обеспечении достоверности результатов метрологической экспертизы при формировании состава экспертной группы, получении индивидуальных и

групповых оценок результатов определения несоответствий, расчете и оценивании показателей достоверности результатов метрологической экспертизы.

Таким образом, разработка методики обеспечения достоверности результатов метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники, позволяющей учесть субъективность индивидуальных оценок метрологов-экспертов, уровень их компетентности при формировании групповых оценок, а также реализовать комплексное оценивание показателей достоверности результатов метрологической экспертизы, является весьма актуальной задачей.

Содержание методики

Предлагаемая методика подразумевает наличие следующих этапов, представленных на рис. 1 [6]:

1. Определение требований к достоверности результатов и продолжительности метрологической экспертизы.
2. Формирование состава экспертной группы.
3. Определение недостатков образца ракетно-космической техники.
4. Получение индивидуальных оценок результатов определения недостатков.
5. Получение групповых оценок результатов определения недостатков.
6. Расчет показателей достоверности результатов метрологической экспертизы.
7. Оценивание показателей достоверности результатов метрологической экспертизы.
8. Формирование достоверных результатов метрологической экспертизы.

Определение требований к достоверности результатов и продолжительности метрологической экспертизы представляет собой установление допустимых значений показателей достоверности результатов и продолжительности метрологической экспертизы. Выбор данных значений осуществляется представителями заказчика.

Формирование состава экспертной группы подразумевает привлечение потенциальных экспертов, являющихся специалистами в области метрологического обеспечения ракетно-космической техники. При этом на основе критериев и шкал, представленных в табл. 1, каждый j-й эксперт оценивается коэффициентом компетентности с помощью следующего выражения [6]:

$$q_j = \frac{\sum_{l=1}^{L} в_{jl}}{\sum_{l=1}^{L} в_{l\max}},$$

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

Численность группы экспертов определяется из условия [6]:

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

где $q_{\max} = 1$ – максимально возможное значение коэффициента компетентности экспертов; ξ – количество задач, решаемых образцом ракетно-космической техники.

Если условие (1) не выполняется, то в экспертную группу привлекается еще один или несколько экспертов. В результате формируется экспертная группа, которая характеризуется матрицей-строкой компетентности:

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

Определение несоответствий осуществляется на основе индивидуального ознакомления каждого j-го эксперта с образцом ракетно-космической техники. При этом каждый j-й эксперт для каждого обнаруженного им i-го недостатка фиксирует его и выставляет индивидуальную оценку $p_{ij} \in [0,1]$. Эта оценка является субъективной вероятностью нахождения i-го недостатка в указанном месте и отражает степень уверенности в этом j-го эксперта.

Определение недостатков осуществляется исходя из ограничений на время проведения метрологической экспертизы с использованием следующего критерия класса пригодности:

$$i = \overline{1,I}; \ \left(T^{Д} \le T\right),$$

где $T^{Д}$ – допустимая продолжительность метрологической экспертизы; T – фактическая продолжительность метрологической экспертизы.

Результатом определения недостатков является матрица субъективных вероятностей:

$$P = \left(p_{ij}\right)_{i=1..I,\, j=1..J} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1J} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{I1} & p_{I2} & \cdots & p_{IJ} \end{pmatrix}.$$

Получение индивидуальных оценок результатов определения несоответствий осуществляется путем преобразования матрицы субъективных вероятностей в матрицу индивидуальных оценок, учитывающих уровень компетентности экспертов:

$$W = \left(w_{ij}\right)_{i=1..I,\, j=1..J} = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1J} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{I1} & w_{I2} & \cdots & w_{IJ} \end{pmatrix}.$$

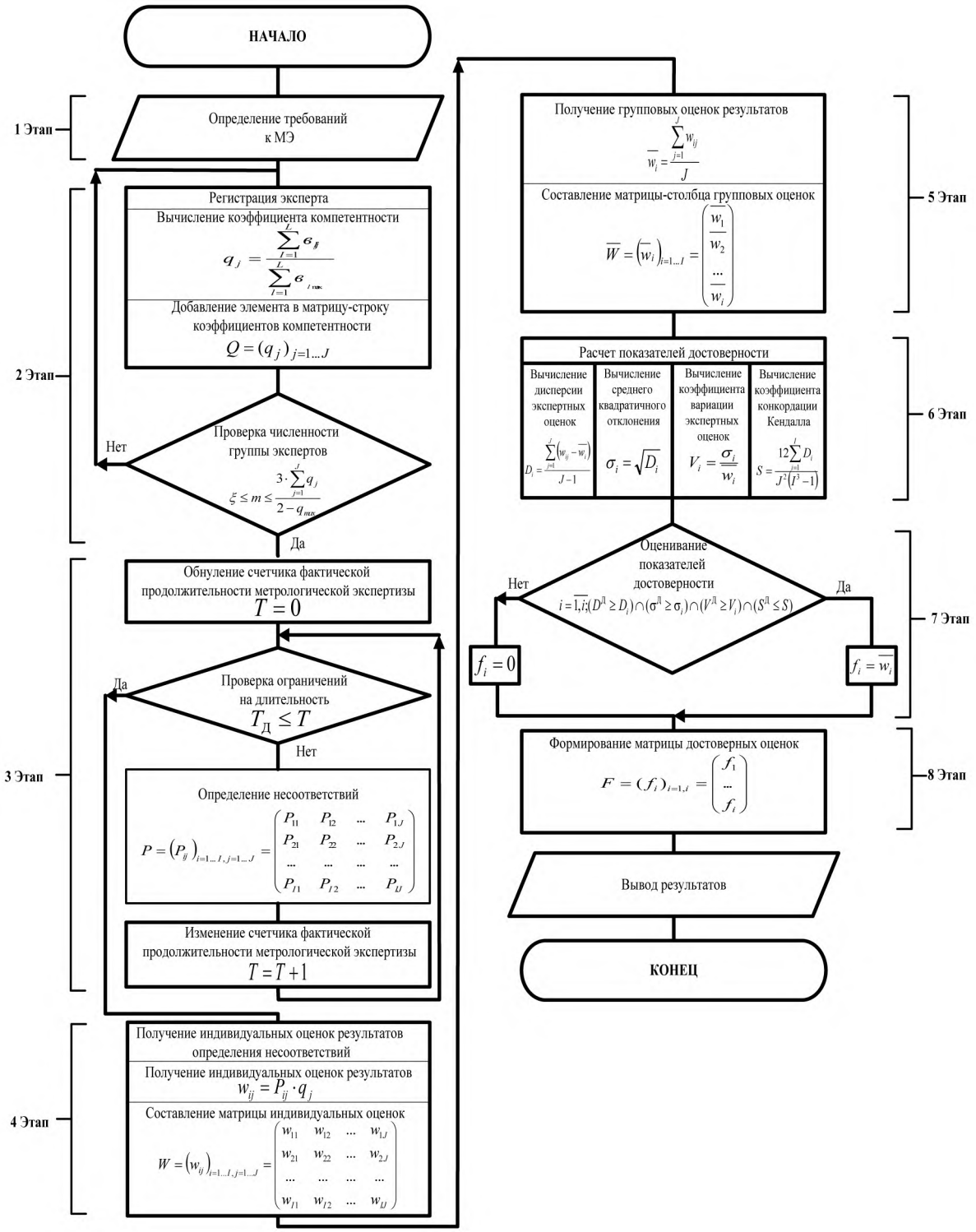

Рис. 1. Структура методики обеспечения достоверности результатов метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники

Таблица 1

Критерии и шкалы для оценки уровня компетентности экспертов

Критерий / Вес	Уровень образования	Занимаемые должности	Количество проведенных экспертиз	Опыт работы в области метрологической экспертизы
1	Бакалавр	Младший научный сотрудник, научный сотрудник	До 4	До 2 лет
2	Специалист	Старший научный сотрудник, преподаватель	От 4 до 8	От 2 до 4 лет
3	Магистр	Начальник лаборатории, старший преподаватель	От 8 до 12	От 4 до 6 лет
4	Кандидат наук	Заместитель начальника отдела, доцент, профессор	От 12 до 16	От 6 до 8 лет
5	Доктор наук	Начальник отдела, начальник кафедры, заместитель начальника кафедры	Более 16	Более 8 лет

Для этого элементы матрицы субъективных вероятностей и матрицы-строки компетентности подставляются в следующее выражение:

$$w_i = \sum_{j=1}^{J} p_{ij} \cdot q_j \, .$$

Получение групповых оценок результатов определения недостатков осуществляется посредством преобразования матрицы индивидуальных оценок в матрицу-столбец групповых оценок:

$$\overline{W} = (\overline{w}_i)_{i=1..I} = \begin{pmatrix} \overline{w}_1 \\ \overline{w}_2 \\ \dots \\ \overline{w}_I \end{pmatrix}.$$

Для этого элементы матрицы индивидуальных оценок подставляются в следующее выражение:

$$\overline{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^{J} w_{ij}}{J} \, .$$

Полученные групповые оценки характеризуют групповое мнение экспертов о недостатках.

Оценивание достоверности результатов метрологической экспертизы подразумевает получение дополнительной статистической информации о результатах метрологической экспертизы. В качестве такой информации выступают [6]:

– дисперсии экспертных оценок;

– среднеквадратические отклонения экспертных оценок;

– коэффициенты вариации экспертных оценок;

– коэффициент конкордации Кендалла.

Дисперсии экспертных оценок являются абсолютными характеристиками разбросанности значений индивидуальных оценок относительно групповых. Данные величины рассчитываются по следующей формуле:

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^{J} \left(w_{ij} - \overline{w}_i\right)^2}{J-1} \, .$$

Дисперсии групповых оценок имеют размерность квадрата групповой оценки. Поэтому для наглядной абсолютной характеристики рассеивания индивидуальной оценки, размерность которой совпадает с размерностью групповой оценки, используются среднеквадратические отклонения экспертных оценок. Данные величины рассчитываются по следующей формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{D_i} \, .$$

Коэффициенты вариации экспертных оценок являются относительными характеристиками разбросанности значений индивидуальных оценок относительно групповых.

Данные величины рассчитываются по следующей формуле:

$$\nu_i = \frac{\sigma_i}{\overline{w}_i} \, .$$

На основе значений дисперсий, среднеквадратических отклонений и коэффициентов вариации экспертных оценок подтверждается достоверность результатов метрологической экспертизы.

Коэффициент конкордации Кендалла характеризует согласованность экспертов между собой, т.к. позволяет количественно определить область группового мнения. Данная величина рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \frac{12 \sum_{i=1}^{I} D_i}{J^2 \left(I^3 - 1\right)} \, .$$

Коэффициент конкордации Кендалла S принимает значение в пределах от 0 до 1. Значение $S = 1$ означает полную согласованность мнений экспертов, $S = 0$ – полную несогласованность. Низкое значение этого коэффициента свидетельствует об отсутствии общности мнений экспертов и требует повторного проведения метрологической экспертизы.

Оценивание показателей достоверности результатов метрологической экспертизы осуществляется с использованием следующего критерия класса пригодности:

$$i = \overline{1, I}; \quad \left(D^{Д} \geq D_i\right) \wedge \left(\sigma^{Д} \geq \sigma_i\right) \wedge \left(\nu^{Д} \geq \nu_i\right) \wedge \left(S^{Д} \leq S_i\right), \quad (2)$$

где $D^{Д}$ – допустимое значение дисперсии экспертных оценок; $\sigma^{Д}$ – допустимое значение среднеквадратического отклонения экспертных оценок; $\nu^{Д}$ – допустимое значение коэффициента вариации экспертных оценок; $S^{Д}$ – допустимое значение коэффициента конкордации Кендалла.

Формирование достоверных результатов метрологической экспертизы предполагает формирование матрицы-столбца достоверных оценок:

$$F = (f_i)_{i=1,i} = \begin{pmatrix} f_1 \\ \dots \\ f_i \end{pmatrix} .$$

Элементы данной матрицы формируются из матрицы-столбца групповых оценок. Для этого

используется условие (2). Если какой-нибудь элемент матрицы-столбца групповых оценок удовлетворяет условию (2), то значение этого элемента становится значением элемента матрицы-столбца достоверных оценок:

$$f_i = \overline{w_i}.$$

В противном случае элементы матрицы-столбца достоверных оценок принимают нулевые значения:

$$f_i = 0.$$

Заключение

Представленная методика может быть реализована в виде программного обеспечения автоматизированного рабочего места метролога-эксперта, которое по мере участия каждого привлекаемого эксперта позволит корректировать и вырабатывать обоснованное решение о выявленных недостатках при проведении метрологической экспертизы образцов ракетно-космической техники.

Литература

1. Положение о порядке создания, производства и эксплуатации (применения) ракетных и космических комплексов (утв. Постановлением Правительства РФ от 22 июля 1998 года № 819-31).

2. Чапоргин, В. С. Состояние и перспективы развития системы метрологического обеспечения ракетно-космической техники / В.С. Чапоргин, Д.В. Панов, П.М. Поморцев // Мир измерений. – 2013. – № 9. – С. 3–7.

3. РМГ 63–2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации. – М. Стандартинформ, 2003.

4. МИ 32/004–2004 Порядок проведения метрологической экспертизы программы и методик аттестации испытательного оборудования и технических систем (комплексов) полигона или испытательной организации. – М. Стандартинформ, 2004.

5. Швыдун, В. В. Актуальные вопросы организации работ по метрологической экспертизе вооружения и военной техники / В.В. Швыдун // Военная мысль. – 2008. – № 2. – С. 55–58.

6. Совершенствование нормативно-методических документов министерства обороны российской федерации по метрологической экспертизе образцов вооружения и военной техники : рабочие материалы по СЧ КНИР «Авдотка-2015» / ВКА имени А.Ф. Можайского ; А.Н. Кравцов [и др.]. – СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2016. – 59 с. – Инв. №8716-РМ.