

Научно-методический аппарат обоснования межповерочных интервалов средств измерений

Я. Н. Гусеница, С. А. Шерстобитов, А. В. Малахов

В работе проведен анализ проблемы выбора межповерочного интервала средства измерений, который зависит, с одной стороны, от уровня метрологической надежности средства измерений, а с другой стороны, от финансовых затрат на его поверку и возможного ущерба из-за неточности результатов измерений. Обоснована актуальность решения задачи совершенствования научно-методического аппарата, позволяющего определить оптимальную длительность межповерочного интервала средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик. Исследованы существующие методы, основанные на использовании формализованного описания зависимостей показателей точности и метрологической надежности средств измерений от среднего времени их наработки с момента последней поверки. Выявлены недостатки, которые не позволяют в полной мере решить поставленную задачу. Предложен научно-методический аппарат, позволяющий определить оптимальную длительность межповерочного интервала средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик. Представлена модель, основанная на формализации экономических затрат, которые необходимы на эксплуатацию средств измерений. При оптимизации в качестве целевой функции выбрана функция экономических затрат, которая зависит от затрат на поверку средства измерений и ущерба из-за неточности измерений. Кроме того, целевая функция учитывает случайный характер и неоднородность метрологических характеристик средств измерений. В результате задача обоснования межповерочных интервалов сводится к поиску минимума целевой функции. В заключение приведен численный пример расчета межповерочного интервала средства измерений на основе предложенной модели. Предложено практическое применение данного аппарата в тех случаях, когда необходимо использовать средства измерений за пределами межповерочного интервала.

Ключевые слова: межповерочный интервал, средство измерения, метрологическое обеспечение, периодическая поверка, функция экономических затрат, метрологическая надежность.

1. Введение

Современный этап развития науки и техники многие теоретики и практики связывают с широким использованием робототехнических систем и интеллектуальных процессов, миниатюризацией элементной базы изделий, интеграцией информационных систем, применением новых физических принципов. Данная тенденция сопровождается значительным усложнением не только самых разнообразных по устройству и назначению технических систем, но и реализуемых с их помощью технологических процессов, контроль которых осуществляется на основе измерений.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в

природе закономерности. Кроме того, измерения служат основой научно-технических знаний и имеют первостепенное значение при получении измерительной информации, которая необходима для учета материальных, временных, энергетических и прочих видов ресурсов, планирования и управления, повышения качества продукции, достижения взаимозаменяемости узлов и деталей, обеспечения безопасности [2].

Качество измерительной информации определяется уровнем метрологического обеспечения, основной целью которого является достижение единства и требуемой точности измерений во всех отраслях и сферах деятельности государства [4].

Для достижения указанной цели в рамках метрологического обеспечения выполняются различные мероприятия, основным из которых является периодическая поверка средств измерений, позволяющая экспериментально оценить соответствие метрологических характеристик установленным требованиям.

Периодическая поверка выполняется через установленные межповерочные интервалы в зависимости от метрологической надежности средств измерений. Причем чем меньше межповерочный интервал, тем выше уровень метрологической надежности средства измерений и тем больше финансовые затраты на проведение их поверки. С другой стороны, увеличение межповерочного интервала может привести к уменьшению метрологической надежности средств измерений, а также возрастанию ущерба из-за неточности результатов измерений.

Следовательно, задача разработки научно-методического аппарата, позволяющего определить оптимальную длительность межповерочного интервала средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик, является весьма актуальной.

2. Анализ существующего научно-методического аппарата обоснования межповерочных интервалов средств измерений

В настоящее время для обоснования межповерочных интервалов средств измерений используют методы, которые представлены в РМГ 74-2004. В основе этих методов лежит формализованное описание зависимостей показателей точности и метрологической надежности средств измерений от времени, прошедшего с момента последней поверки. Поэтому в РМГ 74-2004 они рекомендованы даже при отсутствии априорной информации.

В то же время существующие методы имеют несколько грубые допущения. Во-первых, при моделировании процессов дрейфа метрологических характеристик используется либо обобщенное нормальное распределение, либо нормальное распределение, что далеко не всегда подтверждается на практике. Во-вторых, процесс деградации каждой метрологической характеристики в течение времени является случайным процессом, который имеет свои числовые характеристики. А в указанных методах формализуют либо одну метрологическую характеристику, либо полагают, что все метрологические характеристики подчиняются одинаковому закону распределения с одними и теми же числовыми характеристиками. В-третьих, использование усредненных показателей метрологической надежности средств измерений приводит к достаточно грубым результатам вычислений межповерочных интервалов [5, 6].

Таким образом, выявлено противоречие между необходимостью обоснования межповерочных интервалов средств измерений и существующим научно-методическим аппаратом, не позволяющим в полной мере решить данную задачу.

3. Содержание предлагаемого научно-методического аппарата

С учетом представленных выше недостатков существующего научно-методического аппарата предлагается использовать оригинальный метод, который основан на формализации экономических затрат, необходимых для эксплуатации средств измерений.

Следует отметить, что формализация экономических затрат на эксплуатацию средств измерений является дальнейшим развитием модели квантования, предложенной в [1]. В ней оптимизируемая функция представлена в виде математического ожидания величины потерь:

$$\Psi(x) = \int_0^{\infty} \left(x \left\lfloor \frac{z}{x} \right\rfloor + 1 \right) dF(z) + CJ + \text{const}, \quad \text{при } J = \int_0^{\infty} \left\lfloor \frac{z}{x} \right\rfloor dF(z) \quad (1)$$

где $\int_0^{\infty} \left(x \left\lfloor \frac{z}{x} \right\rfloor + 1 \right) dF(z)$ – средние потери за счет искажения значения случайной величины информации z в результате квантования; CJ – потери за счет использования неполного количества информации J .

Авторы работы [3], цитируя статью [1], аналогичную функцию квантуемой величины представляют в виде:

$$\Psi(x) = (x + C) \int_0^{\infty} \left(\left\lfloor \frac{z}{x} \right\rfloor + 1 \right) dF(z), \quad (2)$$

где x , C – величина кванта и величина промежутка между квантами; $F(z)$ – функция распределения квантуемой случайной величины z , имеющей конечное математическое ожидание.

Отличительными преимуществами работы [3] по сравнению с [1] являются простая физическая иллюстрация и строгий алгоритм целочисленного решения дискретной задачи.

Вместе с тем выражение (2) в приведенной форме нельзя использовать для других прикладных задач, в том числе и для обоснования межповерочных интервалов средств измерений. Поэтому в отличие от оригинала в усовершенствованной модели предлагается учесть, что квантуется процесс дрейфа каждой метрологической характеристики средства измерений. Для этого рассмотрим некоторое средство измерений, для которого известны назначенный ресурс T и затраты на его поверку C .

Пусть процесс дрейфа в течение времени t каждой i -й метрологической характеристики описывается с помощью произвольной известной функции распределения $F_i(t)$. Поскольку отклонение любой метрологической характеристики от требований приводит к снижению точности измерений, а качественно точность измерений характеризуется близостью к нулю погрешности результата измерений, то будем полагать следующее: математическое ожидание $M_i[t]$ отклонения метрологической характеристики от требований будет равным 0; любое отклонение i -й метрологической характеристики от требований приводит к некоторой известной величине ущерба c_i из-за метрологической неисправности средства измерений.

Тогда функция экономических затрат на эксплуатацию средств измерений:

$$M(t) = \left(\left\lfloor \frac{T}{t} \right\rfloor + 1 \right) \left(\sum_{i=1}^N c_i F_i(t) \right) + C_{\text{п}}, \quad (3)$$

где N – количество метрологических характеристик средства измерений.

Дальнейшее обоснование межповерочного интервала сводится к решению оптимизационной задачи, связанной с нахождением минимума функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений при заданных значениях его метрологических характеристик.

На практике при разработке тактико-технического задания на новые средства измерений назначенный ресурс T , как правило, неизвестен. В таком случае назначенный ресурс T может быть представлен в качестве случайной величины, имеющей свой закон распределения. С учетом этого формула (1) примет вид:

$$M(t) = \left(\left(\sum_{i=1}^N c_i F_i(t) \right) + C \right) \cdot \int_0^{\infty} \left(\frac{z}{t} + 1 \right) \cdot g(z) dz, \quad (4)$$

где $g(z)$ – плотность распределения случайной величины T .

4. Численный пример

1. Пусть требуется определить межповерочный интервал средства измерений при заданных значениях двух метрологических характеристик. Назначенный ресурс средства измерений составляет $T = 10$ [лет], а стоимость поверки средства измерений – $C = 10$ [у.е.].

Для первой метрологической характеристики величина ущерба из-за ее отклонения от требований составляет $c_1 = 2$ [у.е.], а функция дрейфа описывается нормальным законом распределения со среднеквадратическим отклонением $\sigma_1 = 3$ (рис. 1).

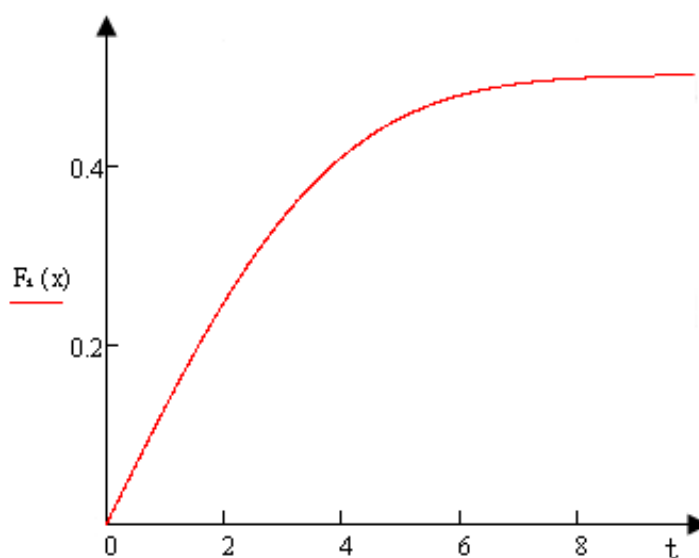


Рис. 1. Функция распределения процесса дрейфа первой метрологической характеристики средства измерений

Для второй метрологической характеристики величина ущерба из-за ее отклонения от требований составляет $c_2 = 4$ [у.е.], тогда как функция дрейфа описывается экспоненциальным законом распределения со среднеквадратическим отклонением $\sigma_2 = 2$ (рис. 2).

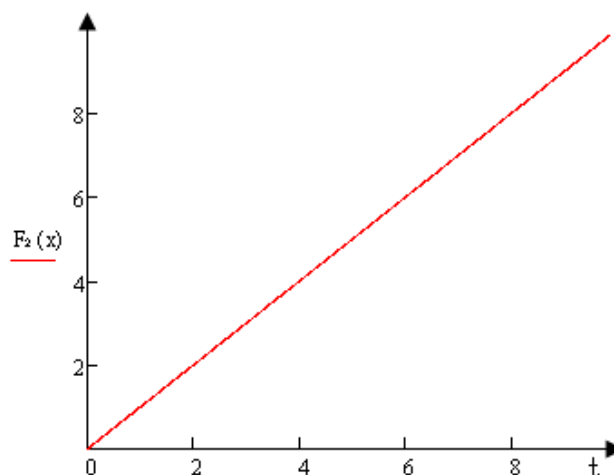


Рис. 2. Функция распределения процесса дрейфа второй метрологической характеристики средства измерений

Подставляя исходные данные в выражение (3), получим значение функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений. График функции экономических затрат показан на рис. 3. Отыскав минимум этой функции, получим, что оптимальный межповерочный интервал составляет 1 год.

2. Пусть назначенный ресурс вновь разрабатываемого средства измерения неизвестен и подчинен нормальному закону распределения с математическим ожиданием $m_T = 10$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_T = 1$. С учетом сказанного, подставляя исходные данные примера 1 в выражение (4), получим значение функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений при неизвестном назначенном ресурсе. График функции экономических затрат при неизвестном назначенном ресурсе показан на рис. 4. Отыскав минимум этой функции, получим, что оптимальный межповерочный интервал составляет 2.7 года.

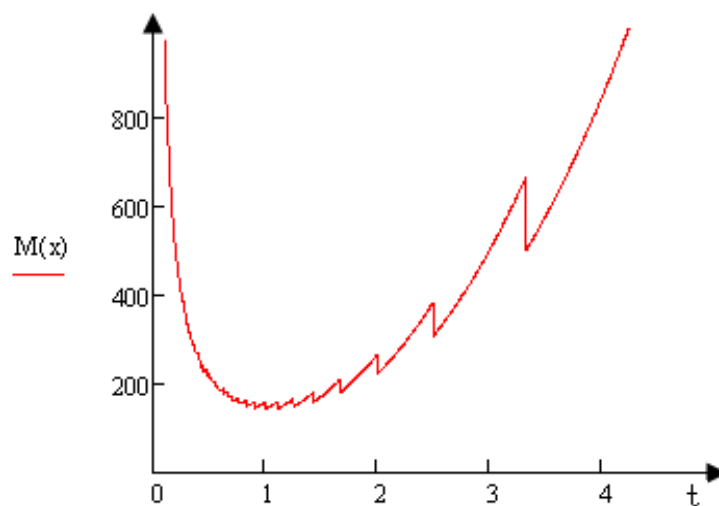


Рис. 3. Функция экономических затрат на эксплуатацию средства измерений

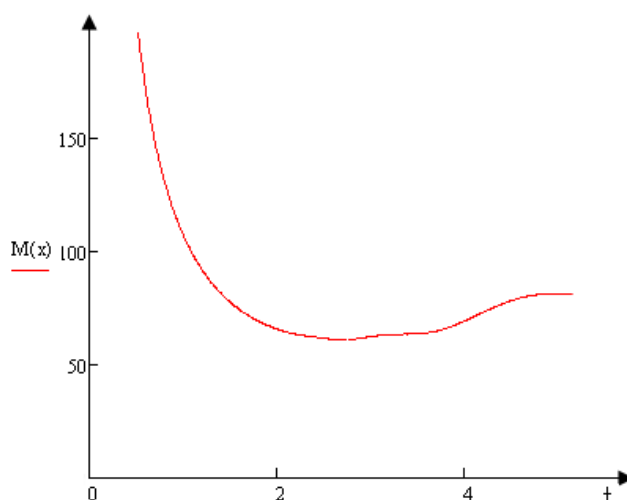


Рис. 4. Функция экономических затрат на эксплуатацию средства измерений при неизвестном назначенном ресурсе

5. Заключение

Таким образом, предлагаемый научно-методический аппарат представляет собой решение задачи оптимального определения времени эксплуатации средств измерений с учетом требований к метрологическим характеристикам.

На практике данный аппарат может быть использован для уточнения межповерочного интервала в тех случаях, когда необходимо использовать средства измерений за его пределами.

Литература

1. Андронов А. М., Бокоев Т. Н. Оптимальное в смысле заполнения квантование информации // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1979. № 3. С. 154–158.
2. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии: учебное пособие для вузов. М.: Издательство стандартов, 1985. 256 с.
3. Гришанин Б. А. Учет ценности информации в теории ценности информации // Изв. АН. СССР. Техническая кибернетика, 1967. № 2. С. 9–10.
4. Кузнецов В. А., Исаев Л. К., Шайко И. А. Метрология. М.: Стандартинформ, 2005. 300 с.
5. Сычев Е. И., Храменков В. Н., Шкитин А. Д. Основы метрологии военной техники. М.: Военное издательство, 1993. 400 с.
6. Ченцова С. В. Расчет первичного межповерочного интервала по нормируемым показателям надежности средства измерений // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии», 2012. С. 141–142.

Статья поступила в редакцию 15.02.2016;
переработанный вариант — 22.04.2016

Гусеница Ярослав Николаевич

к.т.н., преподаватель кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. +7 (981) 831-50-29, e-mail: yaromir226@mail.ru.

Шерстобитов Сергей Александрович

адъюнкт кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. +7 (981) 831-50-29, e-mail: radosti_yad@mail.ru.

Малахов Александр Владимирович

адъюнкт кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. +7 (981) 831-50-29, e-mail: sanya-mall@yandex.ru.

Method of calibration intervals justification of measuring instruments

Y. Gusenitsa, S. Sherstobitov, A. Malakhov

The paper analyzes the problem of choosing verification interval of measuring instruments which depends on the level of metrological reliability of measuring instruments, and on the financial costs of measuring instruments verification, and possible damage due to inaccurate measurement results. The urgency of solving the problem of improving scientific and methodological apparatus which allows us to determine the optimal duration of calibration interval of measuring instruments at setting values of specified metrological characteristics is justified. The existing methods based on the use of formal description of the dependences of the accuracy and metrological reliability of measuring instruments on the average operation time since the last calibration are investigated. Deficiencies that do not allow us to solve the problem fully are identified. Scientific-methodical device that allows us to determine the optimal duration of the calibration interval of measuring instruments to the specified values of metrological characteristics is proposed. The model based on formalization of economic costs which are necessary for the operation of measuring instruments is presented. When optimizing the objective function is selected as a function of economic costs which depends on the cost of calibration testing and damage due to inaccurate measurements. In addition, the objective function takes into account the random nature and heterogeneity of metrological characteristics of measuring instruments. As a result, the task of justification of calibration interval is reduced to finding the minimum of the objective function. Finally, a numerical example of calculating the calibration interval of a measuring instrument based on the proposed model is presented.

Keywords: calibration interval, measuring instrument, metrological support, periodic verification, function of economic expenses, metrological reliability.