

О ПЕРИОДИЧНОСТИ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

С.Ф. Левин

Московский институт экспертизы и испытаний, кафедра метрологии и метрологического обеспечения
Россия, 117418, Москва, Нахимовский проспект, 31. E-mail: AntoninaEL@rostest.ru

Аннотация

Рассмотрены примеры определения периодичности поверки и калибровки средств измерений на основе прогнозирования дрейфа метрологических характеристик.

Ключевые слова: поверка, калибровка, дрейф характеристик, композиционный подход, доверительная вероятность.

Введение

С ростом периодичности поверки и калибровки средств измерений (СИ) стоимость их эксплуатации уменьшается и возрастает риск необнаруженного отказа. Уменьшение периодичности снижает этот риск, но приводит к выработке ресурса СИ.

При всем многообразии подходов к определению оптимальных межповерочных и межкалибровочных интервалов СИ [1] решение задач этого типа как измерительных задач идентификации прогнозирующей модели дрейфа с учетом ее погрешности неадекватности было получено методом максимума компактности (ММК) в 1980-е годы [2–7].

ММК – статистический метод в рамках композиционного подхода интерполяционной концепции вероятности. Метод основан на критериях воспроизводимости распределений вероятностей, схеме перекрестного наблюдения погрешностей неадекватности (подробнее см. [8]) и, что очень важно, на опыте исследований периодичности проверок и продления сроков эксплуатации техники, к надежности которой предъявляются повышенные требования [9, 2, 10].

Последнее обстоятельство напрямую связано с высокой надежностью практически всех типов СИ, что обусловлено относительно низкой частотой их отказов, фиксируемых при поверке или калибровке.

Логика статистического вывода ММК при идентификации математических моделей объектов реализует по критерию минимума погрешности неадекватности проверку системы нулевых гипотез: вырожденности H_0 , непрерывности H_{00} и композиционной однородности H_{000} зависимостей между физическими величинами [11]. Тогда алгоритмы параметрической идентификации регрессионного анализа – методы максимального правдоподобия (МП), наименьших квадратов (МНК) и модулей (МНМ), медианной интерполяции (МЕД) – в сочетании со схемой перекрестного наблюдения становятся алгоритмами структурно-параметрической идентификации. Их реализуют программы типа «ММК–стат» решения статических измерительных задач и «ММК–дин» решения динамических измерительных задач, в которых эти алгоритмы получили сокращенное обозначение ММКМП, ММКМНК, ММКМНМ, ММКМЕДС [11].

Дальнейшие исследования привели к разработке апостериорных прогнозирующих систем метрологического сопровождения (АПСМС) измерительных

задач типа «ММК–градуировка», «ММИ–поверка» [12, 10, 13–16] и других программ (Табл. 1), реализующих логику статистического вывода ММК относительно математических моделей объектов.

Таблица 1
Общая характеристика АПСМС [17]

Тип	Прогнозирующая модель	Оценки погрешности неадекватности	Алгоритмы
Спектр–ММК	Тригонометрический ряд	Частотный спектр СМПН	ММКМНК
Прогноз–ММКМЕД	Степенной кусочно-непрерывный ряд	Смеси распределений Коши, бета, Лапласа, равномерного и Симпсона	ММКМНК, ММКМЕДС
Прогноз–ММКМП	То же	Смеси распределений Гаусса и равномерных распределений	ММКММП
Полёт–ММК	Модель динамики летательного аппарата	Статистическое распределение отклонений	То же
ММК–стат	Степенной кусочно-непрерывный ряд	СМПН	ММКМНК, ММКМЕДС
ММК–дин	Дифференциальное уравнение	То же	Двойное статическое решение
ММК–стат М	Многомерный структурированный степенной ряд	То же	ММКМНК, ММКМНМ

Хотя основные положения ММК введены в действие РРТ 507–98 [18], Р 50.2.004–2000 [11] и МИ 2916–2005 [19], метод не утратил актуальности в связи с введением ГОСТ 8.565–99 [20], Р 50.1.037–2002 [21], ГОСТ Р 50779.21–2004 [22], РМГ 74–2004 [23], ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 [24], ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 [25] и ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 [26], благодаря более полному описанию случайных процессов в композиционном подходе по сравнению с моментным подходом.

Целью настоящей статьи является демонстрация результатов применения основных методических положений композиционного подхода в задаче определения периодичности поверки и калибровки СИ.

Специфика композиционного подхода

Композиционный подход к определению периодичности поверки СИ впервые был применен для планирования и анализа эксперимента по опытной эксплуатации СИ с различными межповерочными интервалами, а также для анализа данных об эксплуатации СИ с целью адаптивной коррекции периодичности их поверки, что представляет особый интерес.

Дело в том, что после отмены ПР 50.2.009–94 [27] интервал между поверками согласно Приказу Минпромторга РФ от 30.11.2009 года № 1081 определяют при испытаниях СИ в целях утверждения типа, а его изменение устанавливается по результатам повторных испытаний в целях утверждения типа только в части определения продолжительности интервала между поверками средств измерений. Но на практике использование первого, более полного варианта решения задачи приводило к существенному увеличению длительности испытаний, и единственным источником экспериментальных данных становились данные об эксплуатации СИ в различных условиях.

Однако в этих условиях идентификация распределения вероятностей отказа СИ в целях определения интервала между поверками имеет ряд особенностей:

1) данные об эксплуатации СИ представляют собой цензурированные выборки переменного объема и состава, для анализа которых традиционные статистические методы неприменимы;

2) выборки СИ одного типа не всегда образуют статистически однородную совокупность из-за различий в условиях эксплуатации и по наработке, что требует применения методов многомерного статистического анализа и специального программного обеспечения типа «ММК-стат М» [13];

3) отсутствие мгновенной индикации отказов СИ вызывает смещение статистической функции распределения и, следовательно, оценок параметров распределений вероятностей для наработки до отказа средств измерений, т.к. момент выхода метрологической характеристики конкретного экземпляра СИ за границы поля допуска может быть установлен с точностью до интервала между поверками;

4) высокая надежность СИ требует продолжительных испытаний или использования ускоренных методов, т.к. для подтверждения требуемой вероятности безотказной работы выше $P_{тр}$ необходимо не менее $1/(1 - P_{тр})$ экземпляров СИ;

5) аномальная чувствительность оценок математического ожидания и стандартного отклонения в виде среднего арифметического и СКО для характеристик погрешностей к отклонениям от нормального распределения приводит к смещению оценок моментов наступления отказов.

Поэтому для повышения воспроизводимости результатов анализа применяются следующие меры:

1) выбор метода параметрической идентификации для модели распределения вероятностей по критерию минимума погрешности неадекватности в схеме перекрестного наблюдения;

2) представление неопределенности момента возникновения отказа на интервале между контрольными поверками равномерным распределением согласно МИ 1317–2004 [28];

3) введение функции распределения вида

$$F_{ME}(t) = 1 - \exp\left(-\sum_{m=1}^M \lambda_m \cdot t^m\right);$$

4) переход к структурно-параметрической идентификации распределений вероятностей на множестве параметров с использованием контурных оценок распределений вероятностей [19].

Прогнозирование очередной поверки

Измерительные задачи определения периодичности поверки и калибровки СИ имеют общую постановку, а их решение в общем случае сводится к идентификации характеристик модели дрейфа в функции календарных сроков, наработки и влияющих величин [2] в задаче о достижении границы случайным процессом как в начальной задаче математической статистики [11]. В первом приближении это – задача определения срока очередной поверки СИ по дрейфу определяющей метрологической характеристики.

Рассмотрим методику ее решения на примере теста Ивахненко–Степашко [29].

Тест Ивахненко–Степашко анализа помехоустойчивости методов структурно-параметрической идентификации функциональных моделей в классе полиномов четвертой степени представляет собой вычислительный эксперимент, в ходе которого, по замыслу авторов, моделировалась случайная функция

$$y(t) = 10 - 0,1t^2 + \sigma \cdot \xi, \quad t = 1, 2, 3, \dots, 22,$$

где ξ – некоррелированные гауссовские псевдослучайные числа с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, отмасштабированные заданным уровнем «шума» σ [29]. С помощью этого теста исследовались алгоритмы структурной идентификации метода группового учета аргументов на основе вычислительной схемы метода наименьших квадратов при различных уровнях «шума» (в процентах): от 3 до 400 % [30].

Примем для характеристики положения (систематической составляющей) модели дрейфа максимальной сложности полином 3-й степени [31]

$$\tilde{y}(t) = \vartheta_0 \cdot \theta_0 + \vartheta_1 \cdot \theta_1 \cdot t + \vartheta_2 \cdot \theta_2 \cdot t^2 + \vartheta_3 \cdot \theta_3 \cdot t^3, \quad (1)$$

где $\vartheta = \vartheta_0 \vartheta_1 \vartheta_2 \vartheta_3$ – двоичный код (индикаторная функция) для перебора вариантов структуры модели по критерию минимума среднего модуля погрешности неадекватности (СМПН) [11], а для характеристики рассеяния (наблюдаемой составляющей Ξ) – композицию типовых усеченных распределений

$$f_{\Xi^*R}(\delta) = [F_{\Xi}(\delta - a) - F_{\Xi}(\delta - b)] / (b - a),$$

где δ – отклонение от характеристики положения, R – символ равномерного распределения ненаблюдаемой составляющей на интервале $[a, b]$ согласно [19].

Воспользуемся тестом Ивахненко–Степашко в виде выборки объема $N = 10$ при $\sigma = 10\%$ (Таблица 2) для идентификации модели дрейфа СИ.

Таблица 2

Данные тестового примера (усл. ед.)

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$y(t)$	8,43	10,41	9,67	9,93	8,40	7,58	3,39	6,11	1,80	1,04

Проверка системы нулевых гипотез ММК при отсутствии «разладок» показала следующее.

Наиболее правдоподобной по критерию минимума СМПН является ММКМНК–модель характеристики положения дрейфа с кодом $\vartheta = 1010$ (Рис. 1):

$$\tilde{y}(t) = 10,28205 - 0,0936635 \cdot t^2$$

при СМПН $\varepsilon_{1010}^{[2]} = 1,172496$ (Табл. 3) и среднем абсолютном отклонении (САО) $d_{1010} = 1,0277905$. Отсюда следует оценка дополнительной составляющей погрешности за счет неидентичности метрологических характеристик СИ одного типа [32, 33]

$$\Omega_p = \text{СМПН} - \text{САО} = 0,1447055.$$

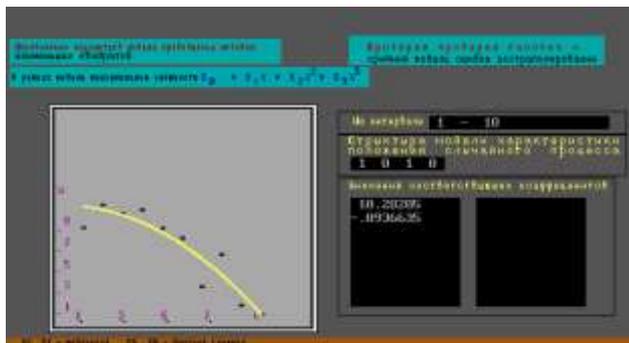


Рис. 1. Программа «ММК–стат»: ММКМНК–модель характеристики положения дрейфа.

Таблица 3

Варианты ММКМНК–модели характеристики положения дрейфа

Код структуры $\vartheta = \vartheta_0 \vartheta_1 \vartheta_2 \vartheta_3$	СМПН
1000	5,384
0100	–
1100	2,054802
1010	1,172496
1001	2,516791
0110	–
1110	1,91969
1111	2,234646

Наиболее правдоподобной оценкой зависимости параметра рассеяния как среднего арифметического положительных и отрицательных отклонений от характеристики положения является модель с кодом $\vartheta = 1000$ (Рис. 2), соответствующая гипотезе H_{000} . Это означает, что характеристика рассеяния дрейфа СИ может быть представлена в виде свертки (2).

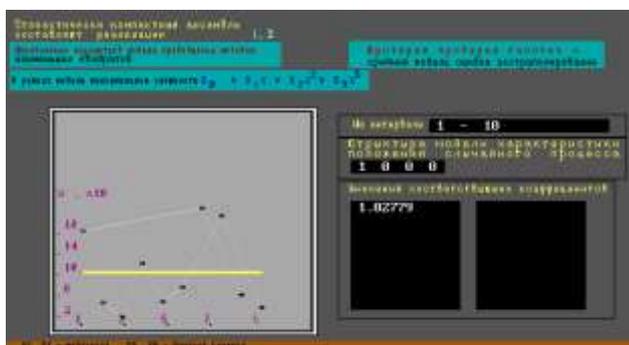


Рис. 2. Программа «ММК–стат»: ММКМНК–модель параметра рассеяния дрейфа.

На рисунке 3 представлены результаты идентификации распределения вероятностей, для наблюдаемой составляющей которого рассматривались гипотезы

в классе типовых усеченных распределений: равномерного, Лапласа, Гаусса, двойного экспоненциального с параметром формы «4» и Трубицына. При этом наиболее правдоподобным по критерию минимума контурной оценки погрешности неадекватности из числа рассмотренных распределений для наблюдаемой составляющей отклонений оказалось усеченное распределение Гаусса.

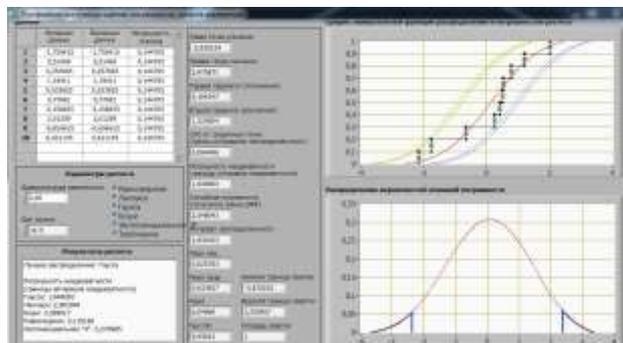


Рис. 3. Программа «ММИ–проверка»: характеристика рассеяния дрейфа с 95%-й зоной толерантности $[-3,670232; 3,355957]$.

Тем самым задача прогнозирования срока очередной поверки сводится к нахождению ближайшего момента достижения границы зоны толерантности допустимого значения погрешности СИ.

Периодичность поверки групп СИ

Перечисленные выше обстоятельства требуют для решения задачи адаптивной коррекции межповерочных интервалов для совокупностей СИ применения алгоритмов идентификации в полном объеме логики статистического вывода ММК [11]. Такое решение задачи предполагает различные результаты для СИ одного типа. В Таблице 4 приведены результаты специального эксперимента, по данным которого была аттестована автоматизированная система коррекции межповерочных интервалов СИ высшей точности «АСК МПИ СИ ВТ» на основе «ММК–стат».

Таблица 4

Результаты исследования АСК МПИ СИ ВТ

Эталон	Количество	Число поверочных точек	Интервал прогноза (год)				Апостериорная достоверность прогноза, %
			2,0	1,5	1,0	<1,0	
А1–2	7	336	2	2	3	–	100
Г2–6Б	10	10	10	–	–	–	100
Г0–...	11	11	3	7	1	–	90,9
Д1–13	12	36	3	2	6	1	94,4
М1–7	2	12	–	1	1	–	83,3
М1–8	4	36	4	–	–	–	88,9
М1–11	2	16	–	–	–	2	100
НЭ ВНИИМ	6	6	1	1	2	2	83,3
НЭ КХ482	11	7	2	1	4	–	100
ПТС–10	12	12	6	3	3	–	83,3
СК2–15	5	15	–	–	5	–	93,3
Я2М–21	6	36	2	–	3	1	88,9
Всего	88	533	33	17	28	6	96,8

В ходе эксперимента в выборке из 88 эталонов было предсказано и подтверждено 6 отказов за счет дрейфа метрологических характеристик.

Заключение

Опыт решения измерительных задач установления и корректировки интервалов между поверками и калибровками СИ показал, что основными факторами, оказывающими существенное влияние на точность получаемых результатов и уровень доверия к ним в ряде методик, являются следующие:

– неполнота учета погрешностей неадекватности математических моделей на основе критерия Фишера в теории планирования эксперимента, особенно в условиях неравноточности измерений и статистической неоднородности данных испытаний;

– отсутствие многоальтернативной проверки непараметрических статистических гипотез;

– использование экспертных оценок;

– применение без привязки к экспериментальным данным методов статистического моделирования, которое к тому же не может адекватно моделировать события с очень высокой или очень низкой вероятностью появления;

– решение задач на основе моментов, а не распределений, из-за неоднозначности связи между ними, что часто приводит к завышению уровня доверия.

Последний фактор представляет собой принципиальное различие моментного и композиционного подходов к решению измерительных задач.

Перечисленные факторы отмечались в ходе Всесоюзной дискуссии по проблемам применимости вероятностно-статистических методов, которая проходила в 1980–1990-е годы. В последнее время о необходимости учета этих факторов напомнили ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 и ГОСТ ISO/IEC 17025–2019.

Список литературы

1. Богданов Г.П., Кузнецов В.А., Лотонов М.А. и др. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники. Под ред. В.А. Кузнецова. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
2. Вопросы кибернетики, ВК-94. Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации. Под ред. С.Ф. Левина. М.: АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1982. 152 с.
3. РМ–88 Методика назначения сроков очередной аттестации и поверки средств измерений высшей точности в приборостроении. М.: ВНИИМИСП, 1988. 32 с.
4. РМ–89 Методика адаптивной коррекции межповерочных интервалов средств измерений. М.: ВНИИМИСП, 1989. 30 с.
5. Левин С.Ф., Блинов А.П. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических задач вероятностно-статистическими методами. *Измерительная техника*. 1988. № 12. С. 5–8.
6. Левин С.Ф. Гарантированность программ обеспечения эксплуатации техники / Методические рекомендации. Киев: Знание, 1989. 24 с.
7. Блинов А.П., Левин С.Ф., Антипов А.П., Колышков А.А., Сапьяник И.В. Коррекция межповерочных интервалов в процессе эксплуатации образцовых средств измерений. *Измерительная техника*. 1990. № 4. С. 8–10.
8. Левин С.Ф. Концепция неопределенности и теория погрешностей: Философия и математика // *Украинский метрологический журнал*. 2019. № 2. С. 16–29.

9. Левин С.Ф. Комбинированный метод статистического моделирования. М.: АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1978. 75 с.
10. Левин С.Ф. Контроль технических объектов по аварийным и определяющим параметрам / Методические рекомендации. Киев: Знание, 1992. 24 с.
11. Р 50.2.004–2000 ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения. М.: Госстандарт РФ, 2000. 15 с.
12. Левин С.Ф., Баранов А.Н., Веретенин Д.А., Халед Х.М. Оценка характеристик достоверности прогнозирующего контроля в автоматизированных системах метрологического сопровождения. *Измерительная техника*. 1991. № 12. С. 18–20.
13. Левин С.Ф., Лисенков А.Н., Сенько О.В., Харатьян Е.И. Система метрологического сопровождения статических измерительных задач «ММК–стат М». Руководство пользователя. М.: Госстандарт РФ, РОСТЕСТ–Москва, Вычислительный Центр РАН, 1998. 24 с.
14. Гогин С.С. Программа «ММИ–поверка». *Измерительная техника*. 2006. № 7. С. 20–21.
15. Сулейман И.А. Методика решения измерительной задачи поверки на основе усеченных функций распределений. *Измерительная техника*. 2012. № 1. С. 28–30.
16. Невская Е.Е. Оценивание апостериорной достоверности поверки средств измерений характеристик ионизирующих излучений. *Измерительная техника*. 2017. № 1. С. 13–15.
17. Левин С.Ф. Метод максимума компактности и комплексные измерительные задачи. *Измерительная техника*. 1995. № 7. С. 15–21.
18. РРТ 507–98 ГСИ. Задачи измерительные. Методы решения. Термины и определения. М.: Госстандарт РФ, РОСТЕСТ–Москва, 1998. 20 с.
19. МИ 2916–2005 ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач. М.: МИЭИ, РОСТЕСТ–Москва, 2005. 27 с.
20. ГОСТ 8.565–99 ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2000. 12 с.
21. Р 50.1.037–2002 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. М.: Госстандарт России, 2002. 62 с.
22. ГОСТ Р 50779.21–2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. ИПК Изд-во стандартов, 2004. 43 с.
23. РМГ 74–2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. М.: Стандартинформ, 2006. 22 с.
24. ГОСТ Р ИСО 16269–6–2005 Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов. М.: Стандартинформ, 2005. 24 с.
25. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. М.: Стандартинформ, 2012. 70 с.
26. ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М.: Стандартинформ, 2019. 26 с.
27. ПР 50.2.009–94 ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений. М.: ВНИИМС, 1994. 14 с.
28. МИ 1317–2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов про-

- дукции и контроле их параметров. М.: ВНИИМС, 2004. 53 с.
29. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев: Наукова думка, 1985. 216 с.
 30. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Численное исследование помехоустойчивости многокритериальной селекции моделей. *Автоматика*. 1982. № 4. С. 26–35.
 31. МИ 188–86 МУ ГСИ. Средства измерений. Установленные значения параметров методик поверки. М.: ВНИИМС, 1986. 31 с.
 32. МИ 187–86 МУ ГСИ. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки. М.: ВНИИМС, 1986. 12 с.
 33. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Основная измерительная задача испытаний средств измерений в целях утверждения типа // *Контрольно-измерительные приборы и системы*. 2018. № 5. С. 32–38.
- References**
1. Bogdanov G.P., Kuznetsov V.A., Lotonov M.A. i dr. Metodologicheskoye obespecheniye i ekspluatatsiya izmeritelnoy tekhniki. Pod red. V.A. Kuznetsova. M.: Radio i svyaz. 1990. 240 s. (in Russian).
 2. Voprosy kibernetiki. VK-94. Statisticheskiye metody v teorii obespecheniya ekspluatatsii. Pod red. S.F. Levina. M.: AN SSSR. Nauchnyy sovet po kompleksnoy probleme «Kibernetika». 1982. 152 s. (in Russian).
 3. RM–88 Metodika naznacheniya srokov ocherednoy attestatsii i poverki sredstv izmereniy vysshey tochnosti v priborostroyenii. M.: VNIIMISP. 1988. 32 s. (in Russian).
 4. RM–89 Metodika adaptivnoy korrektsii mezhpoverochnykh intervalov sredstv izmereniy. M.: VNIIMISP. 1989. 30 s. (in Russian).
 5. Levin S.F., Blinov A.P. Theoretical foundations of guaranteed error bounds for the solution of metrological problems by statistical methods // *Measurement Techniques*. 1988. Vol. 31. Number 12. Pages 1145–1150.
 6. Levin S.F. Garantirovannost programm obespecheniya ekspluatatsii tekhniki / Metodicheskiye rekomendatsii. Kiyev: Znaniye. 1989. 24 s. (in Russian).
 7. Blinov A.P., Levin S.F., Antipov A.P., Kolyshkov A.A., Sapiyanik I.V. Correction of verification intervals of reference measuring instruments // *Measurement Techniques*. 1990. Vol. 33. Number 4. Pages 296–299.
 8. Levin S.F. Kontseptsiya neopredelennosti i teoriya pogreshnostey: Filosofiya i matematika // *Ukrainskiy metrologicheskii zhurnal*, 2019, no. 2, pp. 16–29 (in Russian).
 9. Levin S.F. Kombinirovannyi metod statisticheskogo modelirovaniya. M.: AN SSSR. Nauchnyy sovet po kompleksnoy probleme «Kibernetika». 1978. 75 s. (in Russian).
 10. Levin S.F. Kontrol tekhnicheskikh ob'yektov po aviatsionnyim i opredelyayushchim parametram / Metodicheskiye rekomendatsii. Kiyev: Znaniye. 1992. 24 s. (in Russian).
 11. R 50.2.004–2000 GSI. Opredeleniye kharakteristik matematicheskikh modeley zavisimostey mezhdz fizicheskimi velichinami pri reshenii izmeritelnykh zadach. Osnovnyye polozheniya. M.: Gosstandart RF, 2000. 15 s. (in Russian).
 12. Levin S.F., Baranov A.N., Veretenin D.A., Khaled Kh.M. Estimation of confidence characteristics of predictive testing in automatic metrological maintenance systems // *Measurement Techniques*. 1991. Vol. 34. Number 12. Pages 1225–1228.
 13. Levin S.F., Lisenkov A.N., Senko O.V., Kharatian E.I. Sistema metrologicheskogo soprovozhdeniya staticheskikh izmeritelnykh zadach «MMK–stat M». Rukovodstvo polzovatelya. M.: Gosstandart RF, ROSTEST–Moskva, Vychislitelnyy Tsentri RAN. 1998. 24 s. (in Russian).
 14. Gogin S.S. Programma «MMI–poverka» // *Izmeritel'naya tekhnika*. 2006. No 7. S. 20–21.
 15. Suleyman I.A. Metodika resheniya izmeritelnoy zadachi poverki na osnove usechennykh funktsiy raspredeleniy // *Izmeritel'naya tekhnika*. 2012. No 1. S. 28–30. (in Russian).
 16. Nevskaya E.E. Otsenivaniye aposteriornoy dostovernosti poverki sredstv izmereniy kharakteristik ioniziruyushchikh izlucheniye // *Izmeritel'naya tekhnika*. 2017. No 1. S. 13–15. (in Russian).
 17. Levin S.F. Compactness maximum method and complex measurement problems // *Measurement Techniques*. 1995. Vol. 38. No 7. Pages 732–743.
 18. RRT 507–98 GSI. Zadachi izmeritelnyye. Metody resheniya. Terminy i opredeleniya. M.: Gosstandart RF, ROSTEST–Moskva. 1998. 20 s. (in Russian).
 19. MI 2916–2005 GSI. Identifikatsiya raspredeleniy veroyatnostey pri reshenii izmeritelnykh zadach. M.: MIEI, ROSTEST–Moskva, 2005. 27 s. (in Russian).
 20. GOST 8.565–99 GSI. Poryadok ustanovleniya i korrek-tirovki mezhpoverochnykh intervalov etalonov. M.: Mezhdgosudarstvennyy sovet po standartizatsiy, metrologiy i sertifikatsiy, 2000. 43 s. (in Russian).
 21. R 50.1.037–2002 Prikladnaya statistika. Pravila poverki soglasiya opytного raspredeleniya s teoreticheskim. Chast II. Neparаметрические критерии. M.: Gosstandart RF, 2002. 62 s. (in Russian).
 22. GOST R 50779.21–2004 Statisticheskiye metody. Pravila opredeleniya i metody rascheta statisticheskikh kharakteristik po vyborochnym dannym. Chast 1. Normalnoye raspredeleniye. M.: IPK Izd-vo standartov. 2000. 43 s.
 23. RMG 74–2004 GSI. Metody opredeleniya mezhpoverochnykh i mezhkalibrovochnykh intervalov sredstv izmereniy. M.: Standartinform. 2006. 22 s. (in Russian).
 24. ISO 16269-6:2003 Statistical interpretation of data–Part 6. Determination of statistical tolerance intervals. Geneva: ISO, 2003. 24 p.
 25. ISO/IEC 31010:2009 Risk management – Risk assessment techniques. Geneva: ISO/IEC, 2012. 70 s.
 26. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO, 2017. 30 s.
 27. PR 50.2.009–94 GSI. Poryadok provedeniya ispytaniy i utverzhdeniya tipa sredstv izmereniy. M.: VNIIMS. 1994. 14 s. (in Russian).
 28. MI 1317–2004 GSI. Rezultaty i kharakteristiki pogreshnosti izmereniy. Formy predstavleniya. Sposoby ispolzovaniya pri ispytaniyakh obraztsov produktsii i kontrole ikh parametrov. M.: VNIIMS. 2004. 53 s. (in Russian).
 29. Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S. Pomekhoustoychivost modelirovaniya. Kiyev: Naukova dumka. 1985. 216 s. 30. (in Russian).
 30. Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S. Chislennoye issledovaniye pomekhoustoychivosti mnogokriterialnoy selektsii modeley. Avtomatika. 1982. № 4. S. 26–35. (in Russian).
 31. MI 188–86 МУ ГСИ. Средства измерений. Установленные значения параметров методик поверки. М.: ВНИИМС. 1986. 31 с. (in Russian).
 32. MI 187–86 МУ ГСИ. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки. М.: ВНИИМС. 1986. 12 с. (in Russian).
 33. Levin S.F. Matematicheskaya teoriya izmeritelnykh zadach: Prilozheniya. Osnovnaya izmeritel'naya zadacha ispytaniy sredstv izmereniy v tselyakh utverzhdeniya tipa // *Kontrolno-izmeritelnyye pribory i sistemy*. 2018. № 5. S. 32–38. (in Russian).