

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК НА НЕСТАБИЛЬНОСТЬ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В связи с тем, что пока не выработан приемлемый подход к определению значения поправки к показаниям СИ на нестабильность, этот вопрос по-прежнему остается актуальным у специалистов и руководителей метрологических служб. Одной из задач, решаемых в таком случае, является обеспечение прослеживаемости результатов измерений, применяя калибровку СИ и введение различных поправок к их показаниям, в том числе поправок на нестабильность. В соответствии с вышеизложенным, в данной статье описаны модели для оценки значения поправок на нестабильность средств измерений, а также приведен их анализ пригодности используя ежегодные данные результатов поверки калибратора-измерителя КИСС-03, комплекта светофильтров КНС-10.2 и калибратора давления СРН 6000. Проведен сравнительный анализ методов моделированием методом Монте-Карло, а также экспериментальное исследование СИ с целью оценивания нестабильности. Был осуществлен подбор модели, адекватно описывающей нестабильность средств измерений в соответствии с РМГ 115-2011. В результате получены оценки средней скорости дрейфа погрешности мер и прогноз с применением статистических моделей (средняя скорость дрейфа, усредненная по нескольким отсчетам в соответствии с рекомендациями РМГ 74-2004, РМГ 115-2011 и СООМЕТ R/GM/32:2017; средняя скорость дрейфа, оцененная методом наименьших квадратов (МНК); средняя скорость дрейфа, оцененная методами простой (SMA), взвешенной (WMA) или экспоненциальной (ЕМА) скользящей средней) описания нестабильности, выбранных для исследования СИ. Был сделан вывод, что наиболее приемлемый прогноз обеспечивает использование модели экспоненциальной (ЕМА) и взвешенной (WMA) скользящих средних.

**Ключевые слова:** нестабильность измерений, мера, измерительные приборы, скорость дрейфа, интервалы между калибровками.

### Введение

**Постановка проблемы.** На современном этапе развития промышленности внимание специалистов и руководителей метрологических служб направлено на оптимизацию временных и материальных затрат при эксплуатации средств измерений (СИ).

Одной из задач, решаемых в таком случае, является обеспечение прослеживаемости результатов измерений, применяя калибровку СИ и введение различных поправок к их показаниям, в том числе поправок на нестабильность. Как известно, существенное влияние на оценку нестабильности оказывают многочисленные случайные эффекты – случайные погрешности калибруемого средства измерений и эталона, а также изменение условий, в которых проводилась калибровка в разные моменты времени и др.

Учитывая, что оценка нестабильности представляет собой достаточно сложную двухэтапную задачу: в течение первого достаточно продолжительного этапа, связанного с экспериментальными исследованиями, оценивают нестабильность СИ, а на втором – подбирают модель, адекватно описывающую нестабильность СИ, в соответствии с кото-

рой могут быть оценены значения поправки для конкретного экземпляра СИ.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Несмотря на множество предложений и публикаций, посвященных данному вопросу, в том числе при участии автора [1–3], и на существующую нормативную базу [4–6], к сожалению, пока не выработан приемлемый подход к определению значения поправки к показаниям СИ на нестабильность.

**Формулирование цели статьи** – подобрать модель, с помощью которой могут быть оценены значения поправок на нестабильность калибруемых экземпляров СИ.

Для достижения цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Исследование методов аналитического описания нестабильности СИ.
2. Экспериментальное исследование СИ с целью оценивания нестабильности.
3. Подбор модели, адекватно описывающую нестабильность СИ.
4. Анализ пригодности моделей для оценки значения поправок на нестабильность средств измерений.

## Изложение основного материала

### 1 Описание и выбор моделей для оценки значения поправок на нестабильность средств измерений

Для решения этой и последующих задач были использованы протоколы поверки некоторых экземпляров СИ, любезно предоставленные ФБУ «Пензенский ЦСМ», таких как:

- калибратор-измеритель стандартных сигналов КИСС-03;
- комплект светофильтров КНС-10.2;
- калибратор давления СРН 6000.

Для аналитического описания нестабильности вышеперечисленных СИ были использованы следующие 5 моделей, исследуемых в настоящей статье:

- средняя скорость дрейфа, усредненная по нескольким отсчетам в соответствии с рекомендациями [4–6];
- средняя скорость дрейфа, оцененная методом наименьших квадратов (МНК);
- средняя скорость дрейфа, оцененная методами простой (SMA), взвешенной (WMA) или экспоненциальной (EMA) скользящей средней.

Суть этих моделей заключается в оценке средней скорости дрейфа на основании протоколов ранее проведенных калибровок или поверок этих СИ. При этом в первых двух моделях при экстраполяции (прогнозе на будущее) используют результаты всех протоколов проведенных калибровок или поверок, а в моделях, основанных на скользящих средних, – только нескольких последних калибровок (обычно трех, иногда пяти протоколов, считая результаты последних экспериментов более весомыми).

### 2 Экспериментальное исследование СИ с целью оценивания нестабильности

Как уже описывалось в [2], сравнительный анализ методов проводился моделированием методом Монте-Карло и предполагалось, что границы систематической и случайной составляющих погрешности СИ не превышают  $0,4\Delta$ , а границы нестабильности СИ не превышают  $0,2\Delta$  за интервал между поверками (условно принят за 1 год), где  $\Delta$  – пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ.

При моделировании за основу были взяты две модели зависимости погрешности калибруемого СИ от времени: экспоненциальная и полином третьего порядка.

Экспоненциальная модель зависимости погрешности СИ от времени:

$$y_i = \omega_0 \cdot e^{a \cdot i \cdot \Delta t} + \varepsilon_{сл},$$

где  $\omega_0$  – частота метрологических отказов на момент изготовления СИ при  $t = 0$ ;

$a$  – ускорение процесса метрологического старения;

$\varepsilon_{сл}$  – случайная составляющая погрешности СИ;

$\Delta t$  – интервал времени между калибровками;

$i$  – порядковый номер интервала между калибровками.

Моделирование проводилось для значений  $\omega_0$  в диапазоне от 0,005 до 0,3, а  $a$  – в диапазоне от минус 1 до 1. Было сделано предположение, что случайная составляющая погрешности СИ обладает нормальной функцией плотности распределения вероятностей с математическим ожиданием, равным нулю, и средним квадратическим отклонением (СКО), равным  $0,005\Delta$ , ибо, как показано, в работе [3], при большем значении СКО случайной составляющей погрешности обнаружить нестабильность СИ весьма затруднительно. Также предполагалось, что все интервалы между калибровками постоянны и равны  $\Delta t$ .

При построении модели для полинома третьего порядка были приняты те же допущения, что и для экспоненциальной модели.

Функция полинома третьего порядка была описана формулой:

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot i \cdot \Delta t + a_2 \cdot (i \cdot \Delta t)^2 + a_3 \cdot (i \cdot \Delta t)^3.$$

Для сравнения применимости исследуемых методов применялся критерий минимума суммы квадрата невязок, аналогичный применяемому в МНК.

Анализ данных, полученных в [2], показал, что оценка нестабильности СИ методом наименьших квадратов и взвешенной скользящей средней обеспечивают лучшие результаты, чем применение других методов, исследованных в [2].

### 3 Подбор модели, адекватно описывающей нестабильность СИ

В соответствии с указанными рекомендациями [5]: “7.2.1 Неопределенность результата калибровки, обусловленной нестабильностью применяемых эталонных средств измерений (СИ), оценивают по типу В. Источником информации являются протоколы ранее проведенных калибровок или поверок этих эталонных СИ”.

Для оценки средней скорости дрейфа мер в соответствии с рекомендациями [4–6], сначала необходимо определить скорость дрейфа в  $l$ -м интервале между калибровками по формуле:

$$v_i = \frac{y_l - y_{l-1}}{t_l - t_{l-1}},$$

где  $y_{l-1}$  – значение, приписанное мере, при ее поступлении на  $l$ -ю калибровку, т.е. значение, припи-

санное мере при 1-й калибровке, отнесенное к моменту времени  $t_{1-1}$ ;

$y_1$  – значение, приписанное мере при 1-й калибровке, отнесенное к моменту времени  $t_1$ .

Далее определяют среднюю скорость дрейфа за  $L$  интервалов между калибровками, прошедшими до рассматриваемого момента времени  $t_1$ :

$$\bar{v}_{PMГ1} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^L v_i, \quad (1)$$

которую в дальнейшем используют для определения поправок к приписанному значению меры на интервале времени до следующей калибровки.

Для оценки средней скорости дрейфа методом наименьших квадратов ввиду незначительного количества исходных данных (имеющихся в наличии протоколов калибровки или поверки) целесообразно использовать модели с незначительным количеством параметров – полиномиальные модели невысоких степеней или экспоненциальную модель.

В случае наиболее употребительной линейной модели среднюю скорость дрейфа (коэффициент наклона линии регрессии) и стандартную неопределенность за  $L$  интервалов между калибровками мер, прошедшими до рассматриваемого момента времени  $t_1$ , определяют по формулам:

$$\bar{v}_{МНК1} = \frac{\sum_{i=1}^L \left( t_1 - \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i \right) \cdot \left( y_1 - \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L y_i \right)}{\sum_{i=1}^L \left( t_1 - \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i \right)^2}. \quad (2)$$

Средние значения, приписанные мере, усредненные за  $n$  моментов времени, методами скользящих средних определяют по формулам для:

– простой скользящей средней (SMA):

$$\bar{y}_{SMA1-(n-1)/2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{1-i+1}$$

– взвешенной скользящей средней (WMA):

$$\bar{y}_{WMA1-(n-1)/2} = \frac{\sum_{i=1}^n (n-i+1) \cdot y_{1-i+1}}{\sum_{i=1}^n i},$$

– экспоненциальной скользящей средней (EMA):

$$\bar{y}_{EMA1-1} = \alpha \cdot y_1 + (1-\alpha) \cdot \bar{y}_{EMA1-2}.$$

При этом интервалы между калибровками предполагаются равными между собой, т.е.

$$t_1 - t_{1-1} = t_{1-1} - t_{1-2} = \dots = t_1 - t_0 = \Delta t = \text{const},$$

а полученные значения скользящих средних относят к середине интервала усреднения, т.е. при  $n = 3$ , к моменту времени  $t_{1-1}$ .

Среднюю скорость дрейфа, усредненную за  $n$  интервалов между калибровками, отнесенную к середине интервала усреднения, методами скользящих средних определяют по формулам для:

– простой скользящей средней (SMA):

$$\bar{y}_{SMA1} = \frac{\bar{y}_{SMA1-(n-1)/2} - \bar{y}_{SMA1-(n-1)/2}}{\Delta t}, \quad (3)$$

– взвешенной скользящей средней (WMA):

$$\bar{y}_{WMA1} = \frac{\bar{y}_{WMA1-(n-1)/2} - \bar{y}_{WMA1-(n-1)/2}}{\Delta t}, \quad (4)$$

– экспоненциальной скользящей средней (EMA):

$$\bar{y}_{EMA1} = \frac{\bar{y}_{EMA1} - \bar{y}_{EMA1-1}}{\Delta t}. \quad (5)$$

Полученные значения средней скорости дрейфа могут быть использованы для введения поправок на нестабильность на интервале времени до следующей калибровки, т.е. при  $t \in [t_1; t_{1+1})$  по формуле:

$$y(t) = y_1 + \bar{v}_1 \cdot (t - t_1),$$

где  $\bar{v}_1$  – средняя скорость дрейфа меры, определенная по одной из формул (1–5), отнесенная к моменту времени  $t_1$  и принимаемая в качестве постоянной (прогнозируемой) на всем интервале времени до следующей калибровки.

В качестве формального критерия эффективности прогноза будем использовать оценку неопределенности прогноза, вычисляемую по формуле:

$$u = \sqrt{\frac{1}{m \cdot (m-1)} \cdot \sum_{i=1}^m (y_{\text{пр}i} - y_i)^2},$$

где  $m$  – количество точек зависимости, для которых проводился прогноз;

$y_{\text{пр}1+1} = y_1 + \bar{v}_1 \cdot (t_{1+1} - t_1)$  – значение меры, прогнозируемое для момента времени  $t_{1+1}$ ;

$y_{1+1}$  – значения меры, приписанное мере для момента времени  $t_{1+1}$ .

#### 4 Анализ пригодности моделей для оценки значения поправок на нестабильность средств измерений

Проведем анализ пригодности рассмотренных выше математических моделей, используя ежегодные данные результатов поверки калибратора-измерителя КИСС-03.

Так как в рамках данной статьи не представляется возможным представить прогноз в каждой оцифрованной точке СИ при каждом режиме измерений, были выбраны типичные для каждого СИ результаты прогноза.

С использованием формул (1–5) получены оценки средней скорости дрейфа погрешности меры. При этом скользящие средние оценивались по

трем точкам (т.е.  $n = 3$ ), а в формуле (5) прийнято  $\alpha = 0,8$ . Результати приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Оценки средней скорости дрейфа погрешности результатов поверки калибратора-измерителя КИСС-03

t, год	2010	2011	2012	2013	2014
l	0	1	2	3	4
Y <sub>l</sub>	99,850	99,950	100,005	100,015	100,015
У <sub>PMГI</sub>	-	-	100,05	100,083	100,070
У <sub>MHKI</sub>	-	-	-	100,083	100,048
У <sub>SMAI</sub>	-	-	-	100,060	100,037
У <sub>WMAI</sub>	-	-	-	100,045	100,028
У <sub>EMAI</sub>	-	-	-	100,022	100,018

Окончание табл. 1

t, год	2015	2016	2017	u
l	5	6	7	-
Y <sub>l</sub>	100,015	100,02	100,022	-
У <sub>PMГI</sub>	100,0563	100,048	100,021	0,022
У <sub>MHKI</sub>	100,020	100,015	100,023	0,017
У <sub>SMAI</sub>	100,018	100,017	100,022	0,011
У <sub>WMAI</sub>	100,017	100,018	100,023	0,007
У <sub>EMAI</sub>	100,016	100,019	100,022	0,002

Далее на рис. 1 проиллюстрированы результаты прогноза с применением рассмотренных моделей описания нестабильности, выбранных для исследования СИ.

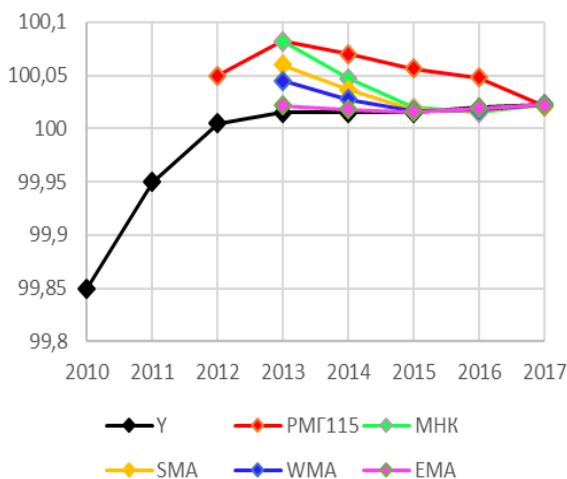


Рис. 1. Прогноз изменения значения нестабильности калибратора измерителя стандартных сигналов КИСС-03 при генерации напряжения 500 мВ, контрольная точка 100 мВ

Результаты пригодности моделей в случае комплекта светофильтров КНС-10.2 приведены в табл. 2.

Таблиця 2

Оценки средней скорости дрейфа погрешности результатов поверки комплекта светофильтров КНС-10.2

t, год	2010	2011	2012	2013	2014
l	0	1	2	3	4
Y <sub>l</sub>	0,1254	0,1261	0,1256	0,1234	0,1210
У <sub>PMГI</sub>	-	-	0,1268	0,1257	0,1227
У <sub>MHKI</sub>	-	-	-	0,1257	0,1221
У <sub>SMAI</sub>	-	-	-	0,1249	0,1217
У <sub>WMAI</sub>	-	-	-	0,1245	0,1214
У <sub>EMAI</sub>	-	-	-	0,1238	0,1211

Окончание табл. 2

t, год	2015	2016	2017	u
l	5	6	7	-
Y <sub>l</sub>	0,1170	0,1130	0,1070	-
У <sub>PMГI</sub>	0,1199	0,1153	0,1123	0,0016
У <sub>MHKI</sub>	0,1187	0,1138	0,1090	0,0008
У <sub>ISMA</sub>	0,1181	0,1135	0,1083	0,0006
У <sub>IWMA</sub>	0,1178	0,1133	0,1080	0,0004
У <sub>IEMA</sub>	0,1173	0,1131	0,1074	0,0002

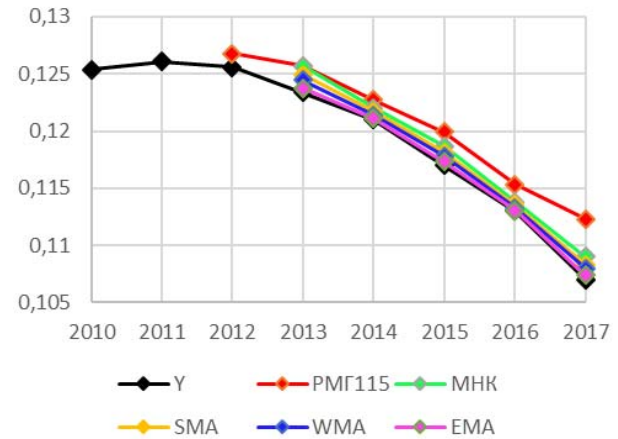


Рис. 2. Прогноз изменения значения нестабильности комплекта светофильтров КНС-10.2 при эффективной относительной зональной оптической плотности 2D при длине волны 520 нм

Результаты пригодности моделей калибратора давления СРН 6000 приведены в табл. 3.

Таблица 3  
Оценки средней скорости дрейфа погрешности  
результатов поверки калибратора давления  
СРН 6000

t, год	2010	2011	2012	2013	2014
l	0	1	2	3	4
Y <sub>l</sub>	0,30000	0,30011	0,30014	0,30017	0,30014
Y <sub>PMГI</sub>			0,30022	0,30021	0,30023
Y <sub>MHKI</sub>				0,30021	0,3002
Y <sub>SMAI</sub>				0,30020	0,30018
Y <sub>WMAI</sub>				0,30018	0,30017
Y <sub>EMAI</sub>				0,30017	0,30015

Окончание табл. 3

t, год	2015	2016	2017	u
l	5	6	7	-
Y <sub>l</sub>	0,29999	0,29850	0,28990	-
Y <sub>PMГI</sub>	0,30018	0,29999	0,29825	0,0019
Y <sub>MHKI</sub>	0,30014	0,2999	0,29768	0,0018
Y <sub>SMAI</sub>	0,30009	0,29943	0,29509	0,0012
Y <sub>WMAI</sub>	0,30006	0,29919	0,29368	0,0009
Y <sub>EMAI</sub>	0,30002	0,29877	0,29138	0,0004

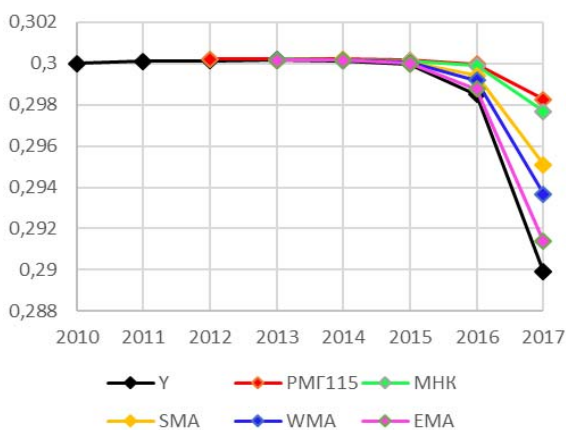


Рис. 3. Прогноз изменения значения нестабильности  
калибратора давления СРН 6000 при прямом ходе  
и 0,3 кг/см<sup>2</sup>

Рассмотрение рис. 1–3 показывает, что, как и следовало ожидать [7], наиболее приемлемый прогноз обеспечивает использование модели экспоненциальной и взвешенной скользящих средних, но получить точное значение поправки для представленных выше средств измерений достаточно затруднительно.

## Выводы

В данной статье были описаны модели для оценки значения поправок на нестабильность средств измерений, а также приведен их анализ пригодности с использованием ежегодных данных результатов поверки калибратора-измерителя КИСС-03, комплекта светофильтров КНС-10.2 и калибратора давления СРН 6000.

В результате получены оценки средней скорости дрейфа погрешности мер и прогноз с применением рассмотренных выше моделей описания нестабильности, выбранных для исследования СИ.

Был сделан вывод, что наиболее приемлемый прогноз обеспечивает использование модели экспоненциальной (ЕМА) и взвешенной (WMA) скользящих средних.

Получение точного значения поправки для представленных в данной статье средств измерений затруднительно, что обусловлено не столько отсутствием ярко выраженной нестабильности (дрейфа), сколько рядом других причин, указанных ранее [1; 8]: влиянием возможных изменений условий поверки в пределах установленных нормальных условий, заменой эталона, с помощью которого проведена поверка, случайными неучтенными факторами и др.

Поэтому для оценки нестабильности СИ необходимо ставить отдельный эксперимент с применением одного и того же экземпляра эталона при одних и тех же (предельно достижимых близких) значениях влияющих факторов условий эксперимента.

## Список литературы

1. Данилов А.А. Методы установления и корректировки межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений / А.А. Данилов // Главный метролог. – 2005. – № 6. – С. 29-36.
2. Бержинская М.В. Сравнительный анализ методов определения поправок на нестабильность / М.В. Бержинская, А.А. Данилов, Д.В. Спутнова // Сб. докл.: XXVI Национален научен симпозиум с международно участие “Метрология и метрологично осигуряване 2016”. – С. 85-89.
3. Об оценке нестабильности средств измерений, применяемых при калибровке / А.А. Данилов, М.В. Бержинская, Ю.М. Голубинский, Д.В. Спутнова // Сб. докл. XIII международного семинара “Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты” (UM-2016). – Минск: БелГИМ, 2016. – С. 53-56.
4. РМГ 74-2004 ГСИ Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200039109>.
5. РМГ 115-2011. ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1991403/>.

6. COOMET R/GM/32:2017 Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.coomet.net/fileadmin/user\\_files/DOCUMENTS/COOMET\\_Documents/Recommendations/COOMET\\_R\\_GM\\_32\\_2017\\_ru.pdf](https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/COOMET_Documents/Recommendations/COOMET_R_GM_32_2017_ru.pdf).
7. Данилов А.А. Анализ моделей описания нестабильности средств измерений / А.А. Данилов, Д.В. Спутнова // Приборы. – 2018. – №3. – С. 6-12.
8. Данилов А.А. Теоретические основы сличения эталонов / А.А. Данилов // Законодательная и прикладная метрология. – 2007. – № 2. – С. 13-18.
9. Бержинская М.В. Теоретические основы экспериментального определения погрешности от временной нестабильности средств измерений / М.В. Бержинская, А.А. Данилов // Измерительная техника. – 2009. – № 3. – С. 11-12.
10. Агафонова О.В. Об оценивании нестабильности средств измерений при использовании различных экземпляров однотипных эталонов / О.В. Агафонова, М.В. Бержинская, А.А. Данилов // Сб. докл.: Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 69-70.

## References

1. Danilov, A.A. (2005), Methods of establishment and adjustment of calibration and calibration intervals of measuring instruments, *Chief metrologist*, No. 6, pp. 29-36.
2. Berzhinskaya, M.V., Danilov, A.A. and Sputnova, D.V. (2016), Comparative analysis of methods of determination corrected for the instability, *XXVI Nationalen taught Symposium with international participation "Metrology and metrologichna osigurava 2016"*, pp. 85-89.
3. Danilov, A.A., Berzhinskaya, M.V., Golubinsky, Yu.M. and Sputnova, D.V. (2016), On the evaluation of instability of the measuring instruments used in calibration, *Proc. Dokl. XIII international seminar "Measurement Uncertainty: scientific, legislative, methodological and applied aspects" (UM-2016)*, BelGIM, Minsk, pp. 53-56.
4. State Standard of the Russian Federation (2004), "74-2004: *Metody opredeleniya mezhpoverochnykh y mezhkalybrovochnykh yntervalov sredstv yzmereniy*" [74-2004: *Methods for determining the intervals of verification and calibration of measuring instruments*], available at: [www.docs.cntd.ru/document/1200039109](http://www.docs.cntd.ru/document/1200039109).
5. All-Russian Scientific Research Institute of Metrology (2012), "RMG 115-2011. *GSE Kalybrovka sredstv yzmereniy. Alghorytmy obrabotky rezul'tatov yzmereniy y ocenivaniya neopredelennosti*" [RMG 115-2011. *GSE Calibration of measuring instruments. Algorithms of processing of results of measurements and uncertainty estimation*], available at: <https://www.twirpx.com/file/1991403/>.
6. COOMET Recommendation (2017), "R/GM/32:2017 *Kalybrovka sredstv yzmereniy. Alghorytmy obrabotky rezul'tatov yzmereniy y ocenivaniya neopredelennosti*" [R/GM/32:2017 *Calibration of measuring instruments. Algorithms of processing of results of measurements and estimation of uncertainty*], available at: [https://www.coomet.net/fileadmin/user\\_files/DOCUMENTS/COOMET\\_Documents/Recommendations/COOMET\\_R\\_GM\\_32\\_2017\\_ru.pdf](https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/COOMET_Documents/Recommendations/COOMET_R_GM_32_2017_ru.pdf).
7. Danilov, A.A. and Sputnova, D.V. (2018), "Analyz modelej opysaniya nestabil'nosti sredstv yzmereniy" [Analysis of the models describing the instability of the measuring instruments], *Instruments*, No. 3, pp. 6-12.
8. Danilov, A.A. (2007), "Teoretycheskiye osnovy slycheniya etalonov" [Theoretical bases of comparison of standards], *Legislative and applied Metrology*, No. 2, pp. 13-18.
9. Berzhinskaya, M.V. and Danilov, A.A. (2009), "Teoretycheskiye osnovy eksperimental'nogho opredeleniya pogreshnosti ot vremennoy nestabil'nosti sredstv yzmereniy" [Theoretical principles for the experimental determination of errors due to instability of measuring instruments over time], *Measurement Techniques*, Vol. 52, No. 3, pp. 220-222.
10. Agafonova, O.V., Berzhinskaya, M.V. and Danilov, A.A. (2013), "Ob ocenivaniy nestabil'nosti sredstv yzmereniy pry yspol'zovaniy razlychnykh ekzempl'jarov odnotypnykh etalonov" [On estimation of the instability of measuring tools when you use different instances of the same type of standards], *Proc. Dokl.: Proceedings of the international Symposium "Reliability and quality"*, Vol. 2, Penza, pp. 69-70.

Поступила в редколлегию 13.09.2018  
Одобрена к печати 11.12.2018

### **Відомості про автора:**

**Спутнова Дар'я Вадимівна**  
Менеджер АНО "Пензенський центр  
випробувань та сертифікації",  
Пенза, Росія  
<https://orcid.org/0000-0001-9166-0722>

### **Information about the author:**

**Darya Sputnova**  
Manager ANO "Penza Center of Tests and Certification",  
Penza, Russia  
<https://orcid.org/0000-0001-9166-0722>

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОПРАВОК НА НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

Д.В. Спутнова

У зв'язку з тим, що поки не вироблений прийнятний підхід до визначення значення поправки до показань ЗВ на нестабільність, це питання як і раніше залишається актуальним у фахівців і керівників метрологічних служб. Одним із завдань, що вирішуються в такому випадку, є забезпечення простежуваності результатів вимірювань, застосовуючи калібрування ЗВ і введення різних поправок до їх показань, в тому числі поправок на нестабільність. Відповідно до вищевикладеного, в даній статті описані моделі для оцінки значення поправок на нестабільність засобів вимірювань, а також наведено їх аналіз придатності використовуючи щорічні дані результатів повірки калібратора-вимірювача КИСС-03, комплекту світлофільтрів КНС-10.2 і калібратора тиску СРН 6000. Проведено порівняльний аналіз методів моделювання методом Монте-Карло, а також експериментальне дослідження ЗВ з метою оцінювання нестабільності. Було здійснено підбір моделі, що адекватно описує нестабільність засобів вимірювань відповідно до РМГ 115-2011. В результаті отримані оцінки середньої швидкості дрейфу похибки заходів і прогноз із застосуванням статистичних моделей (середня швидкість дрейфу, усереднена за кількома відліками відповідно до рекомендації РМГ 74-2004, РМГ 115-2011 і COOMET R / GM / 32 до: 2017; середня швидкість дрейфу, оцінена методом найменших квадратів (МНК); середня швидкість дрейфу, оцінена методами простої (SMA), зваженої (WMA) або експоненційної (EMA) ковзної середньої) опису нестабільності, обраних для дослідження ЗВІ. Був зроблений висновок, що найбільш прийнятний прогноз забезпечує використання моделі експоненціальної (EMA) і зваженої (WMA) ковзних середніх.

**Ключові слова:** нестабільність вимірювань, міра, вимірювальні прилади, швидкість дрейфу, інтервали між калібруваннями.

## DETERMINATION OF AMENDMENTS TO THE INSTABILITY OF MEASUREMENT MEANS

D. Sputnova

Due to the fact that an acceptable approach to determining the value of the amendment to the MM testimony for instability has not yet been developed, this issue is still relevant to specialists and heads of metrological services. One of the tasks solved in this case is to ensure the traceability of the measurement results by applying the SI calibration and introducing various corrections to their readings, including corrections for instability. In accordance with the above, this article describes models for estimating the value of corrections for instability of measuring instruments, and also analyzes their suitability using the annual data of the calibration results of the calibrator-gauge KISS-03, the light filter kit KNS-10.2 and the pressure calibrator CPH 6000. A comparative analysis of the methods by Monte-Carlo simulation was carried out, as well as an experimental study of the SI for the purpose of estimating the instability. A model was selected that adequately describes the instability of measuring instruments in accordance with RMG 115-2011. As a result, we obtained estimates of the average drift velocity of the error of measures and forecast using statistical models (average drift velocity averaged over several counts in accordance with the recommendations of RMG 74-2004, RMG 115-2011 and COOMET R / GM / 32: 2017; average drift velocity, estimated by the least squares method (OLS); average drift velocity, estimated using simple (SMA), weighted (WMA) or exponential (EMA) moving average methods for describing the instability selected for the SI study. It was concluded that the most appropriate prediction is provided by using the model of exponential (EMA) and weighted (WMA) moving averages.

**Keywords:** measurement instability, measure, measuring instruments, drift velocity, intervals between calibrations.