

УДК 621.396.96  
doi:10.21685/2307-5538-2021-4-2

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ГРУППОВОЙ ОЦЕНКИ ПРИ КОНТРОЛЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

Р. О. Лавров<sup>1</sup>, А. Н. Ольховский<sup>2</sup>, Ю. А. Кувькин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2,3</sup> Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации, Мытищи, Россия  
<sup>1</sup>9432923@mail.ru, <sup>2</sup>rusregister.ano@mail.ru, <sup>3</sup>original.rus@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Актуальность темы работы обусловлена необходимостью контроля метрологических характеристик средств измерений в процессе их эксплуатации. *Материалы и методы.* Рассмотрено применение группы средств измерений в качестве средства контроля метрологических средств измерений путем применения их групповой оценки без использования эталонов для своевременного выявления и замены средств измерений с метрологическим отказом. *Результаты и выводы.* Предложенная в работе методика основана на контроле и учете дрейфа (ухода) погрешностей средств измерений в течение интервала между поверками и оценкой метрологического запаса (запаса метрологической надежности) и анализе статистических данных по уходу погрешности за период эксплуатации средств измерений.

**Ключевые слова:** групповая оценка, контроль метрологических характеристик, средство измерений, дрейф погрешности, метрологическая надежность, виброакустические величины

**Для цитирования:** Лавров Р. О., Ольховский А. Н., Кувькин Ю. А. Применение методики групповой оценки при контроле метрологических характеристик виброакустических каналов измерительных комплексов и систем // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 4. С. 13–23. doi:10.21685/2307-5538-2021-4-2

## APPLICATION OF THE METHODOLOGY OF GROUP EVALUATION IN CONTROL OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF VIBROACOUSTIC CHANNELS OF MEASURING COMPLEXES AND SYSTEMS

R.O. Lavrov<sup>1</sup>, A.N. Ol'khovskiy<sup>2</sup>, Yu.A. Kuvykin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

<sup>2,3</sup> Main Scientific Metrological Center Ministry of Defense of the Russian Federation, Mytishchi, Russia  
<sup>1</sup>vka@mail.ru, <sup>2</sup>rusregister.ano@mail.ru, <sup>3</sup>original.rus@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The relevance of the topic of the work is due to the need to control the metrological characteristics of measuring instruments during their operation. *Materials and methods.* The use of a group of measuring instruments as a means of monitoring metrological measuring instruments by applying their group assessment without using standards for the timely identification and replacement of measuring instruments with metrological failure is considered. *Results and conclusions.* The method proposed in the work is based on monitoring and accounting for the drift (drift) of the errors of the measuring instruments during the interval between verification and the assessment of the metrological margin (reserve of metrological reliability) and the analysis of statistical data on the drift of the error during the period of operation of the measuring instruments.

**Keywords:** group assessment, control of metrological characteristics, measuring instrument, error drift, metrological reliability, vibroacoustic values

**For citation:** Lavrov R.O., Ol'khovskiy A.N., Kuvykin Yu.A. Application of the methodology of group evaluation in control of metrological characteristics of vibroacoustic channels of measuring complexes and systems. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;(4):13–23. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-4-2

В общем случае задача контроля метрологических характеристик (МХ) средств измерений в процессе их эксплуатации на основе применения групповой оценки сводится к формированию группы однородных по назначению средств измерений (СИ), имеющих в организации (подразделении). Представленная в статье методика контроля основывается на методе групповой оценки. При этом, чтобы обеспечить требуемую точность оценки погрешности СИ методом взаимных сличений, показания приборов сличаются не между собой, а с групповой средней оценкой измеряемых параметров, полученной путем обработки показаний всех приборов. Применение группы СИ в качестве средства контроля МХ возможно, если будет обеспечена погрешность, меньшая погрешности каждого СИ, входящего в группу СИ (групповое СИ), достаточная надежность, небольшие габариты и масса, умеренная стоимость, оперативность применения [1, 2].

Рассмотрим перечисленные показатели, используя общие правила выбора критериев эффективности. В рамках данных исследований, в статье под групповым СИ понимается совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для возможности контроля МХ аналогичных СИ организации в течение интервала между поверками (ИМП) путем взаимных сличений показаний СИ с их групповой оценкой.

Целью создания группового СИ является решение задачи автономного контроля МХ СИ путем применения их групповой оценки без использования эталонов для своевременного выявления и замены СИ с метрологическим отказом, на основе контроля и учета дрейфа (ухода) их погрешности в течение ИМП и оценкой метрологического запаса (запаса метрологической надежности) на основе анализа статистических данных по уходу погрешности за период эксплуатации СИ. Возможность доведения ИМП СИ до назначенного срока службы изделия рассмотрена в работе Мусаева [3].

Поскольку вероятность метрологического отказа при отсутствии в СИ средств встроенного контроля является, как правило, монотонно возрастающей функцией времени, то цель применения предложенной методики – обеспечить выполнение требования по метрологической надежности в конце интервала между поверками без участия сторонних поверочных лабораторий.

Число возможных вариантов состава групповых СИ сравнительно невелико. Например, в специализированных организациях имеется от 4 до 12 СИ виброакустических величин. Поэтому основная задача может быть решена простым перебором вариантов исходя из количества приборов. Как правило, для формирования группового СИ используют не более 3–5 экземпляров СИ, так как дальнейшее увеличение выборки не приводит к существенному увеличению точности групповой оценки [4].

Для группового СИ время, в течение которого можно достоверно хранить и воспроизводить единицу величины, определяется в рамках модели «процесс – допустимая граница» [5]. Данная модель может быть охарактеризована тремя основными параметрами: временем  $T$  выхода метрологической характеристики  $x(t)$ , характеризующей функционирование группового СИ, за пределы допуска; вероятностью  $P(t)$  работоспособного состояния группового СИ в заданный момент времени; границами  $G_d$  допусков на параметры.

Работоспособность группового СИ обеспечивается поддержанием его характеристик в границах допустимой области. Метрологический отказ – это выход хотя бы одного параметра за эти границы. Состояние  $x_0 = x(t_{Gd})$ , при котором  $x(t)$  находится в области  $G_d$ , соответствует работоспособному состоянию группового СИ, при этом условие работоспособности определяется следующим выражением

$$P(t) = P\{x(t) \in G_d, t = [t_0, T]\}, \quad (1)$$

где  $x(t)$  – вектор метрологических характеристик группового СИ;  $P\{\}$  – вероятность соответствующего события.

Для использования рассмотренной модели надежности типа «процесс – допустимая граница» задаются законом эволюции метрологических характеристик на основе статистических данных по уходу погрешности СИ по результатам их ежегодных поверок [1].

При этом принимается, что погрешности  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_r$  – множество  $r$  независимых основных погрешностей СИ, входящих в групповое СИ, распределены по нормальному закону.

Согласно центральной предельной теореме совместное распределение основных погрешностей СИ, входящих в группу СИ  $\Delta_i, i = \overline{1, r}$ , характеризующее основную погрешность группового СИ  $\lambda$ , также нормально.

В качестве основной погрешности группового СИ принимается определенная функция от погрешностей СИ, формирующих групповую оценку.

На рис. 1 представлена графическая модель эволюции основной погрешности группового СИ.

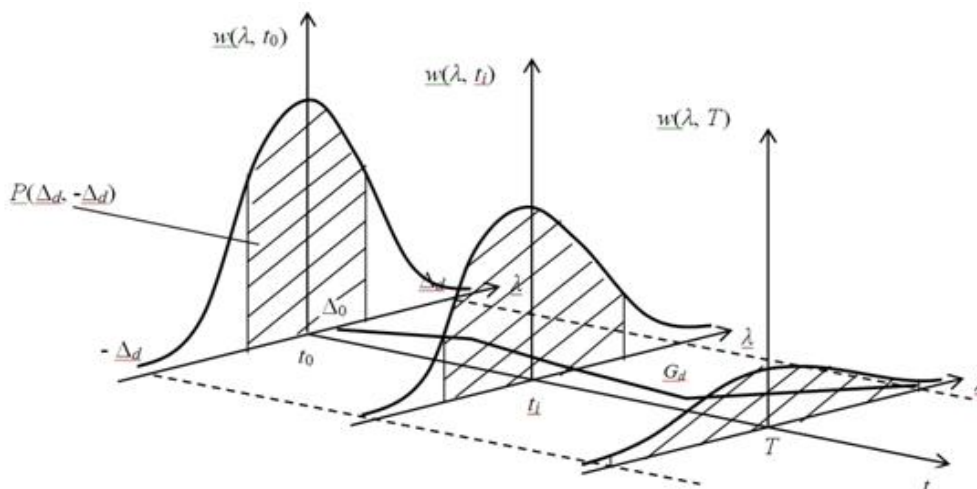


Рис. 1. Графическая модель эволюции основной погрешности группового СИ

В качестве метрологического отказа группового СИ принимается выход его основной погрешности  $\lambda$  за границу допустимых значений  $-\Delta_d$  и  $+\Delta_d$  области  $G_d$ . Тем самым вероятностью безотказной работы группового СИ будет вероятность  $U(\lambda, t)$  невыхода процесса эволюции основной погрешности группового СИ  $\lambda(t)$  из этой области, т.е.

$$U(\lambda, t_0) \equiv P\{\lambda(t) \in G_d, \forall t \in [t_0, T] | \lambda(t_0) \in G_d\}, G_d \subset [-\Delta_d, \Delta_d], \quad (2)$$

где  $U(\lambda, t_0)$  – вероятность того, что ордината  $\lambda$  процесса  $\lambda(t)$  ни разу не выйдет за границы допустимой области  $G_d \subset [-\Delta_d, \Delta_d]$  на интервале  $[t_0, T]$  при условии, что в начальный момент времени  $t = t_0$  значение основной погрешности группового СИ  $\lambda = \lambda_0$  находилось в допустимой области  $G_d$ .

Погрешность группового СИ, формируемая погрешностями измерений одной и той же физической величины несколькими приборами, входящими в групповое СИ, определяется с учетом следующих положений [4].

Принимается, что случайные погрешности приборов малы по сравнению с пределом допускаемых погрешностей, а последние у всех приборов одинаковы и равны  $\Delta$ . Если показания приборов  $x_1, \dots, x_n$ , а действительные их погрешности  $\vartheta_1, \dots, \vartheta_n$  ( $|\vartheta_i| < \Delta$ ), то оценка истинного значения измеряемой величины, измеряемой  $i$ -м прибором, записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} A &= x_1 - \vartheta_1, \\ &\dots \\ A &= x_n - \vartheta_n. \end{aligned} \quad (3)$$

Естественной оценкой истинного значения измеряемой величины в случае ее измерения несколькими приборами равной точности является среднее арифметическое их показаний

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (4)$$

Математически доказано, что эта оценка является наилучшей в классе оценок, линейно связанных с показаниями приборов [5, 6]. Для оценки погрешности полученного результата необходимо сложить левые и правые части уравнений (3)–(4). Разделив их на  $n$ , получим

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \vartheta_i}{n}. \quad (5)$$

При этом реальные погрешности приборов неизвестны, а известно лишь, что  $|\vartheta_i| \leq \Delta$  для всех  $i = 1, \dots, n$ .

Для нахождения границы суммы случайных величин  $\vartheta_i$  (а по совокупности приборов данного типа их погрешности можно считать случайными величинами), нужно знать их функции распределения. Как отмечалось выше, эти функции по экспериментальным данным вряд ли можно найти. Однако для сложных по устройству приборов часто можно считать распределение их погрешностей симметричным. Как правило, математическое ожидание распределения близко к погрешностям тех эталонов, с помощью которых эти приборы поверяют. В первом приближении принимается  $M[\vartheta_i] = 0$ .

Если погрешности приборов имеют равномерное распределение, то доверительная граница суммы случайных величин равна

$$\Theta_1 = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta^2} = k\Delta\sqrt{n}. \quad (6)$$

Отсюда доверительная погрешность оценки

$$\Delta_{\Sigma 1} = \frac{\Theta_1}{n} = \frac{k\Delta}{\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Если распределение погрешностей приборов считать нормальными и  $\Delta = z_{\frac{1+\alpha}{2}} \sigma$ , то

$$\Theta_2 = z_{\frac{1+\alpha}{2}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} = z_{\frac{1+\alpha}{2}} \sigma \sqrt{n} = \Delta \sqrt{n}, \quad (8)$$

тогда

$$\Delta_{\Sigma 2} = \frac{\Theta_2}{n} = \frac{\Delta}{\sqrt{n}}. \quad (9)$$

Эта оценка отвечает тому же уровню доверительной вероятности  $\alpha$ , который был принят при установлении предела допускаемой погрешности  $\Delta$ . Сравнение  $\Delta_{\Sigma 1}$  и  $\Delta_{\Sigma 2}$  показывает, что они отличаются лишь множителем  $k$ , который в зависимости от доверительной вероятности может колебаться от 1,1 ( $\alpha = 0,95$ ) до 1,4 ( $\alpha = 0,99$ ).

Среднее взвешенное значение результатов сличений СИ при необходимости вычисляют по формуле [7]

$$x_{\text{срв}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \frac{1}{S_{x_i}^2 + S_{\Theta_{x_i}}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_{x_i}^2 + S_{\Theta_{x_i}}^2}}. \quad (10)$$

Прогнозирование состояния МХ СИ с учетом процедур, описанных в работах Е. О. Грубо и Л. В. Ефремова [5, 6], осуществляется на основе:

- анализа данных об изменении МХ на интервале наблюдения в дискретные моменты времени;
- построения математической модели дрейфа, выражающей зависимость исследуемой МХ от времени;
- экстраполяции значений исследуемой МХ на область прогноза;
- оценки адекватности определения метрологического ресурса сводится к проверке адекватности модели дрейфа МХ, полученной на основе результатов проведения поверки<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений виброперемещения, виброскорости, виброускорения и углового ускорения : приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2772 от 27.12.2018 ; Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений звукового давления в воздушной среде и аудиоскал : приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2537 от 30.11.2018.

Прогнозирование скорости дрейфа погрешности СИ, как правило, проводилось с применением следующих моделей: средняя скорость дрейфа, усредненная по нескольким отсчетам, средняя скорость дрейфа, оцененная регрессионным методом, а также скорость дрейфа, оцененная методами простой, линейно-взвешенной или экспоненциальной скользящей средней. Сопоставление проводится не только моделированием, но и на основе обработки результатов экспериментальных исследований<sup>1</sup>.

Таким образом, методика контроля метрологических характеристик на основе групповой оценки состоит из следующих этапов:

1) анализ функционирования поверочных схем для СИ единиц виброакустических величин с целью выбора эталона, подлежащего замене соответствующей группой СИ, применяемых в организации;

2) формирование возможных вариантов состава групповых средств измерений (методом перебора) – для замены эталона групповым СИ, сформированным из СИ, подлежащих контролю, на основе анализа номенклатуры и количества СИ, имеющихся в распоряжении организации;

3) построение модели ухода погрешности для каждого СИ, отобранного для группового СИ, за 3–5 лет и модели ухода погрешности группового СИ на основе статистических данных в протоколах поверки о количественных значениях погрешностей СИ;

4) оценка метрологического запаса для каждого СИ группы и для группового СИ с расчетной оценкой времени наступления метрологического отказа для СИ и группового СИ;

5) расчет общей погрешности группового СИ с учетом количества СИ, входящих в состав группового СИ и их погрешностей;

6) экспериментальное определение отклонения (погрешности) каждого СИ, входящего в группу, от средневзвешенного значения с применением допускового контроля, используемого при проведении поверки СИ;

7) анализ результатов и принятие решения о направлении СИ в поверку.

С учетом приведенных выше положений авторами были проведены экспериментальные исследования по возможности применения групповой оценки для контроля МХ виброакустических каналов измерительных комплексов в процессе их эксплуатации.

По результатам анализа Государственных поверочных схем (ГПС) для средств измерений виброакустических величин (звукового давления в воздушной среде и виброускорения) и методик поверки определено, что поверка комплексов проводится с применением рабочего эталона (системы измерительной виброакустической ВС-321)<sup>2</sup>. Пределы относительной погрешности воспроизведения звукового давления (акустический калибратор) на частоте 1000 Гц  $\pm 0,2$  дБ ( $\pm 2,3$  %), пределы относительной погрешности воспроизведения параметров вибрации на частоте 200 Гц  $\pm 1,0$  %.

Для формирования группового СИ по звуковому давлению было выбрано четыре акустических канала четырех комплексов программно-аппаратных для проведения акустических и виброакустических измерений «Спрут-СР». Для формирования группового СИ по виброускорению было выбрано четыре вибрационных канала аналогичного комплекса «Спрут-СР».

Формирование групповых СИ проводилось с учетом следующих правил:

– средства измерений должны быть однородны по назначению и иметь действующие свидетельства о поверке;

– применяются СИ со сроком службы меньше гарантийного срока (службы хранения) и коэффициентом использования меньше 0,95;

– могут применяться резервные СИ, находящиеся на хранении;

– наличие сведений о конкретных погрешностях измерений в свидетельствах о поверке на СИ;

– наличие подтверждения стабильности воспроизведения звукового давления с помощью поверенного акустического калибратора и виброускорения системой ВС-321.

Для контроля МХ СИ организации, не вошедших в групповое СИ, формируются следующие группы СИ из 3–5 приборов аналогичным образом.

<sup>1</sup> РМГ 74-2004. ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.

<sup>2</sup> ИСО 10012-1:1992. Требования по обеспечению качества измерительного оборудования. Часть 1. Система метрологического подтверждения для измерительного оборудования.

Процедура контроля МХ каждого СИ (измерительного канала) из группы проводилась по методике поверки на комплексе «Спрут-СР», при этом оценка погрешности виброакустических каналов комплекса проводилась не сравнением с показаниями эталонных СИ из состава РЭ (ВС-321), а сравнением с полученной средневзвешенной групповой оценкой.

Результаты построения модели ухода погрешности каждого СИ из группы и модель ухода погрешности группового СИ представлены на рис. 2–5.

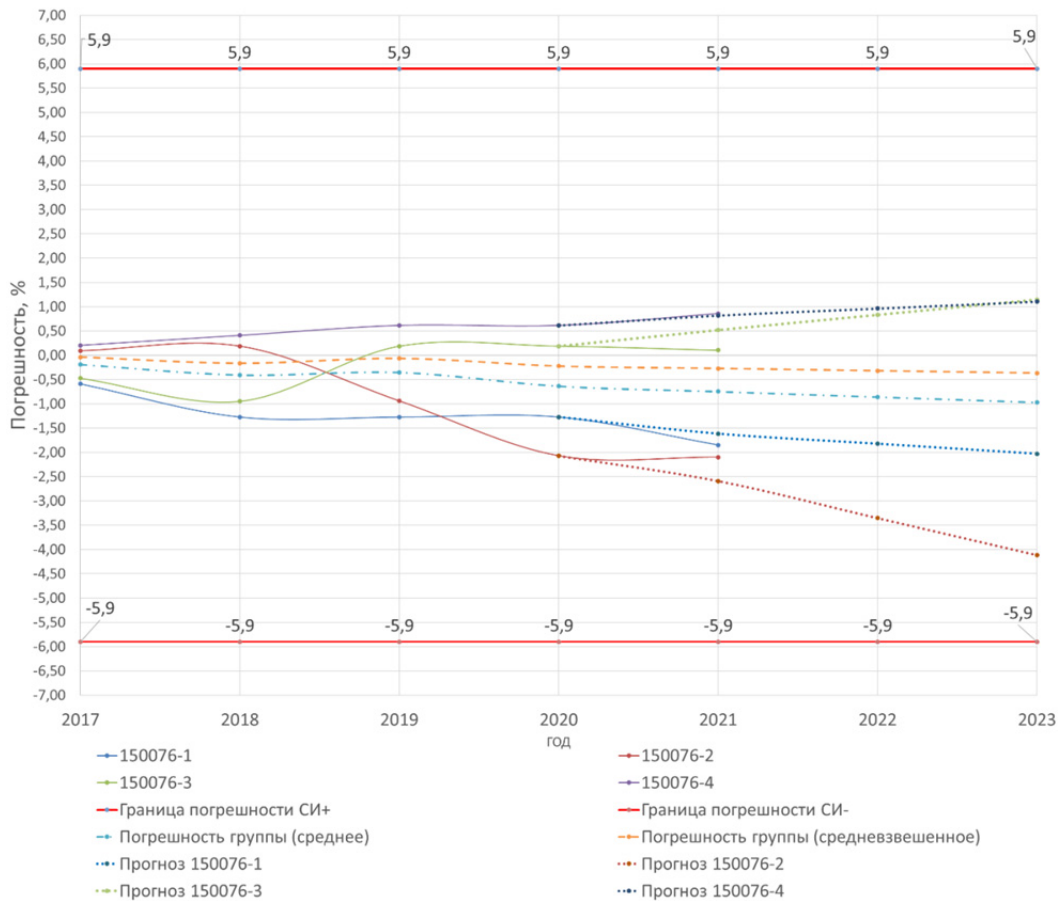


Рис. 2. Модели дрейфа погрешностей вибрационных каналов комплексов и группового СИ на их основе с прогнозом до 2023 г.

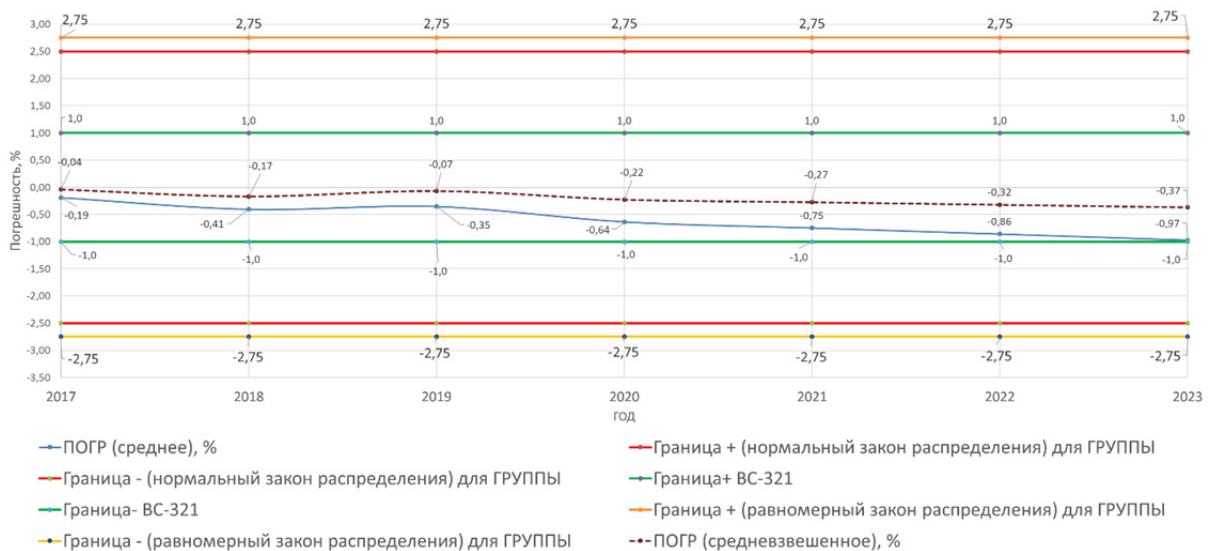


Рис. 3. Графики моделей погрешности группового СИ на основе вибрационных каналов комплексов «Спрут-СР»

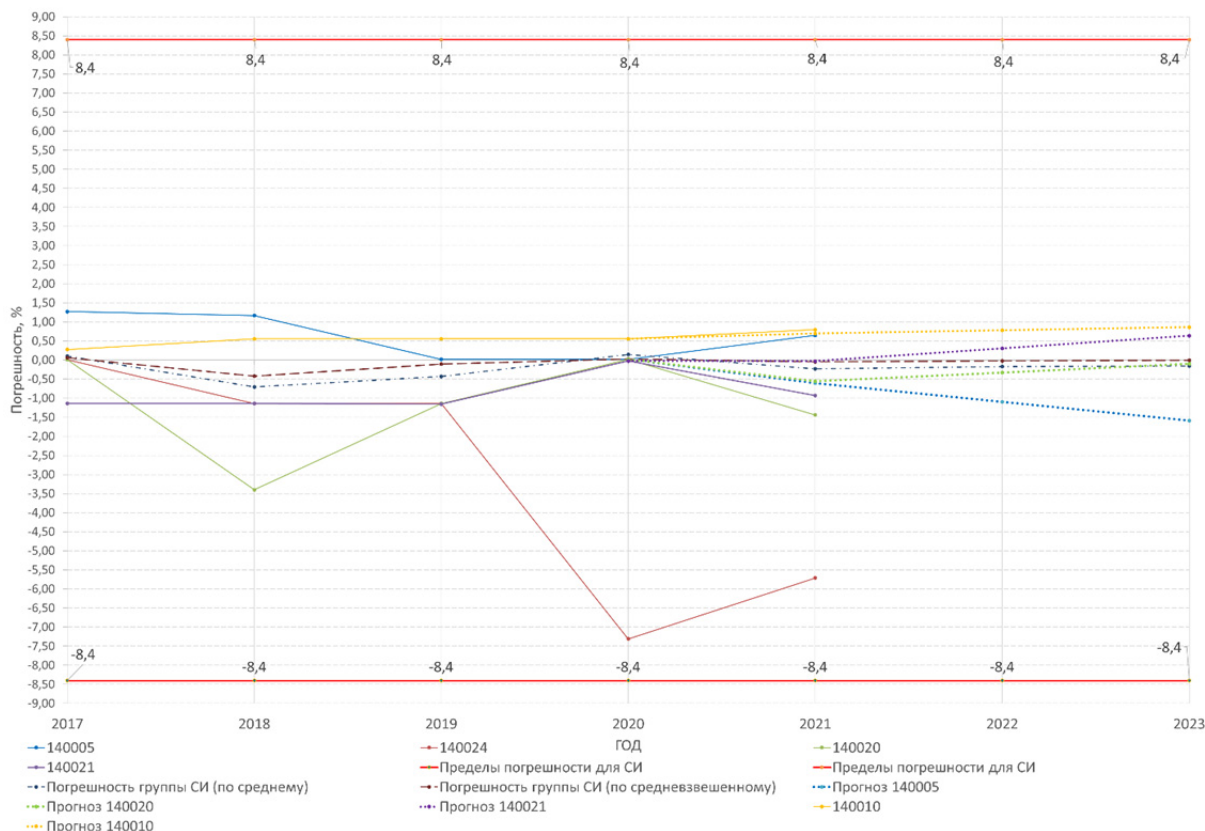


Рис. 4. Модели дрейфа погрешностей акустических каналов комплексов и группового СИ на их основе с прогнозом до 2023 г. (после построения их прогностических моделей, на основе статистических данных комплекс с зав. № 140024 исключен из группы, так как скорость дрейфа модели ухода его погрешности показывает, что метрологический отказ может наступить по истечении двух месяцев после его поверки в 2020 г.)

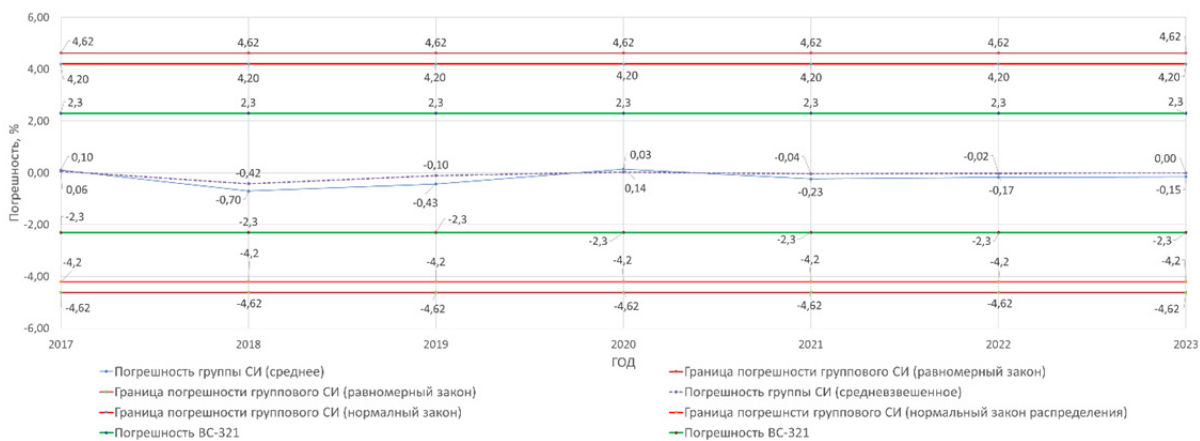


Рис. 5. Графики моделей погрешности группового СИ на основе акустических каналов комплексов «Спрут-СР»

Исходные данные и результаты расчетов погрешностей СИ приведены в табл. 1 и 2. На рис. 3 приведены модели ухода погрешностей пяти комплексов, выбранных для формирования группы.

Определение погрешности каждого СИ, входящего в группу, от средневзвешенного значения проводилось с применением допускового контроля, используемого при проведении поверки СИ. Это позволяет избежать трудностей, связанных с вероятностным обоснованием выбора соотношения между погрешностями эталонного и поверяемых приборов [4].

Таблица 1

## Групповая оценка Спрут-СР по четырем вибрационным каналам

Год	Зав. № 150076				Пределы погрешности для СИ, %	Расчитанное значение погрешности для группы СИ (среднее), %	Расчитанное значение погрешности для группы СИ (средневзвешенное), %	Пределы погрешности для группы (равномерный закон)	Пределы погрешности для группы (нормальный закон)	Пределы погрешности для ВС-321 (рабочий эталон по ГПС)
	1 кан.	2 кан.	3 кан.	4 кан.						
2017	-0,59	0,09	-0,47	0,20	±5,9	-0,19	-0,04	±2,75	±2,5	±1,0
2018	-1,27	0,19	-0,95	0,41	±5,9	-0,41	-0,17	±2,75	±2,5	±1,0
2019	-1,27	-0,94	0,19	0,61	±5,9	-0,35	-0,07	±2,75	±2,5	±1,0
2020	-1,27	-2,07	0,19	0,61	±5,9	-0,64	-0,22	±2,75	±2,5	±1,0
2021	-1,85	-2,10	0,10	0,86	±5,9	-0,75	-0,27	±2,75	±2,5	±1,0
Прогноз на 2021	-1,62	-2,59	0,52	0,82	±5,9	-0,72	-0,24	±2,75	±2,5	±1,0

Таблица 2

## Групповая оценка Спрут-СР по четырем акустическим каналам

Год	140005				Пределы погрешности для СИ, %	Расчитанное значение погрешности для группы СИ (среднее), %	Расчитанное значение погрешности для группы СИ (средневзвешенное), %	Пределы погрешности для группы (равномерный закон)	Пределы погрешности для группы (нормальный закон)	Пределы погрешности для ВС-321
	1 кан.	2 кан.	3 кан.	4 кан.						
2017	1,27	0,28	0,01	-1,14	±8,4	0,10	0,06	±4,62	±4,2	±2,3
2018	1,17	0,56	-3,40	-1,14	±8,4	-0,70	-0,42	±4,62	±4,2	±2,3
2019	0,02	0,56	-1,14	-1,16	±8,4	-0,43	-0,10	±4,62	±4,2	±2,3
2020	0,02	0,56	0,02	-0,02	±8,4	0,14	0,03	±4,62	±4,2	±2,3
2021	0,65	0,80	-1,44	-0,93	±8,4	-0,23	-0,04	±4,62	±4,2	±2,3
Прогноз на 2021	-0,61	0,70	-0,56	-0,03	±8,4	-0,12	-0,19	±4,62	±4,2	±2,3



Задача допускового контроля решается следующим путем. Как следует из определения, годным (соответствующим требованиям нормативной документации) является СИ, для которого  $|x - A| \leq \Delta$ , и негодным (несоответствующим требованиям нормативной документации), если  $|x - A| > \Delta$ .

Аналогичные неравенства справедливы и для эталона:  $|y - A| \leq \Delta_{гр}$ , если он годен, и  $|y - A| > \Delta_{гр}$ , если не годен. При  $x > A$  для годного СИ  $x - A \leq \Delta_{гр}$ . Но  $y - \Delta_{гр} \leq A \leq y + \Delta_{гр}$ . Поэтому, заменяя  $A$  на  $y - \Delta_{гр}$ , получим для годного СИ

$$x - y \leq \Delta - \Delta_{гр}. \quad (11)$$

Аналогично при  $x < A$  можно получить для годного СИ

$$x - y \geq -(\Delta - \Delta_{гр}). \quad (12)$$

Повторяя выкладки для негодного СИ, получаем соответствующие неравенства:

$$x - y > \Delta + \Delta_{гр}, \quad (13)$$

$$x - y < -\Delta - \Delta_{гр}. \quad (14)$$

Рассмотренные соотношения представлены на графиках (рис. 6).

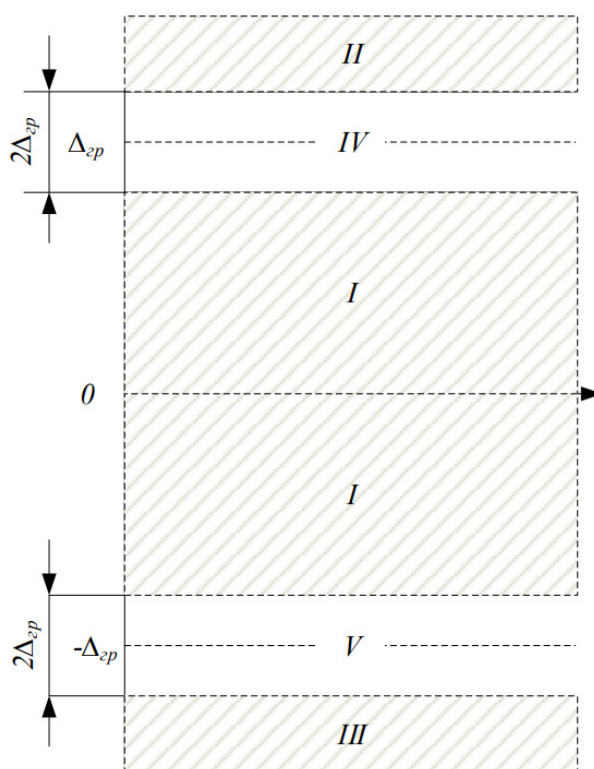


Рис. 6. Зоны безусловной годности (I), безусловного брака (II и III) и неопределенности (IV и V)

Неравенствам (11) и (12) отвечает область I. Средства измерений, для которых разности  $x - y$  попадут в эту область, безусловно, годные независимо от того, в каком отношении находятся погрешности образцового и поверяемого прибора. Неравенствам (13) и (14) отвечают области II и III. Средства измерений, для которых разности  $x - y$  попадут в область II или III, безусловно, негодные.

Часть поверяемых средств измерений может иметь такие погрешности, что

$$\Delta - \Delta_{гр} < x - y < \Delta + \Delta_{гр}. \quad (15)$$

Этим погрешностям отвечают области IV и V. Такие средства измерений, по существу, нельзя ни забраковать, ни признать годными, так как среди них есть в действительности и годные и негодные. Если их признать годными, то к потребителю попадет какое-то число негодных приборов. Это брак поверки, от которого может пострадать потребитель. Если же все такие сомнительные приборы забраковать, то будет забраковано какое-то число в действительности годных приборов. В тех случаях, когда процент сомнительных средств измерений оказывается значительным, а средства измерений дороги и трудно ремонтируются, целесообразна их дополнительная проверка, например, с применением групп СИ большей точности, портативных калибраторов или введением в СИ средств встроенного контроля с применением адаптивной модели ухода МХ СИ.

Результаты определения погрешности СИ виброакустических величин по предложенной методике контроля с учетом статистики по уходу их погрешности за предыдущие четыре года позволяет сделать следующие выводы:

1. Погрешность СИ, определенная с применением группового СИ и системы ВС-321, не превысила допускаемые пределы погрешности поверяемых СИ, указанные в НД. Это подтверждает возможность применения групповой оценки для контроля МХ СИ виброакустических величин с нормированными погрешностями в диапазоне от  $\pm 5,9$  до  $\pm 8,4$  % (без применения эталонных СИ).

2. Прогноз состояния МХ (основной погрешности) для средств измерений виброакустических величин, проведенный с использованием моделей скорости дрейфа, оцененных с помощью линейно-взвешенной и (или) экспоненциальной скользящей средней, составляет:

- для вибрационных каналов (с максимальной скоростью дрейфа) ожидаемый выход погрешности за допускаемые пределы 4–5 лет;
- для акустических каналов (с максимальной скоростью дрейфа) ожидаемый выход погрешности за допускаемые пределы 6–7 лет.

Соответственно, срок очередной поверки СИ виброакустических величин может соответствовать назначенному сроку службы, определенному в эксплуатационной документации.

3. Данные по прогнозу ухода погрешности могут быть представлены разработчику СИ для принятия решения о возможности увеличения ИМП установленным порядком в соответствии с положениями.

4. Реализация предложенной методики контроля, основанной на методе групповой оценки, позволит совершенствовать порядок и методы пересмотра ИМП между подтверждениями исправности СИ в соответствии с требованиями международных стандартов, которые предусматривают контроль дрейфа систематической погрешности СИ при эксплуатации.

5. Подтверждение стабильности метрологических характеристик СИ в течение назначенного срока службы с применением предложенной методики может быть рассмотрено как основание для назначения ИМП конкретных СИ, равного назначенному сроку службы.

#### *Список литературы*

1. Рабинович С. Г. Погрешности измерений. Л. : Энергия, 1978, 262 с.
2. Безуглов Д. А., Поморцев П. М. Автономные средства измерений : монография. Ростов н/Д., 2007. 168 с.
3. Юхнов В. И., Безуглов Д. А., Решетникова И. В., Енгибарян И. А. Задача определения метрологических характеристик автономных средств измерений и основные направления ее решения // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-3.
4. Розанов Ю. А. Случайные процессы (краткий курс). М. : Наука, 1971. 282 с.
5. Грубо Е. О., Королев П. Г. Методика расчета метрологического ресурса измерительного канала для средств измерений с автоматической коррекцией // Сборник докладов 63-й Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава университета. СПб., 2010. С. 228–233.
6. Ефремов Л. В. Запас метрологической надежности как критерий оценки исправности средств измерений // Известия вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 7.
7. Данилов А. А., Спутнова Д. В. Анализ моделей описания нестабильности средств измерений // 175 лет ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 14–15 июля 2017 г.). СПб., 2017. С. 49.

## References

1. Rabinovich S.G. *Pogreshnosti izmereniy = Measurement errors*. Leningrad: Energiya, 1978:262. (In Russ.)
2. Bezuglov D.A., Pomortsev P.M. *Avtonomnye sredstva izmereniy: monografiya = Autonomous measuring instruments : monograph*. Rostov-on-Don, 2007:168. (In Russ.)
3. Yukhnov V.I., Bezuglov D.A., Reshetnikova I.V., Engibaryan I.A. The problem of determining the metrological characteristics of autonomous measuring instruments and the main directions of its solution. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015;(2-3). (In Russ.)
4. Rozanov Yu.A. *Sluchaynye protsessy (kratkiy kurs) = Random processes (short course)*. Moscow: Nauka, 1971:282. (In Russ.)
5. Grubo E.O., Korolev P.G. Methodology for calculating the metrological resource of the measuring channel for measuring instruments with automatic correction. *Sbornik dokladov 63-y Nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava universiteta = Collection of reports of the 63rd Scientific and Technical Conference of the University teaching staff*. Saint Petersburg, 2010:228–233. (In Russ.)
6. Efremov L.V. Stock of metrological reliability as a criterion for assessing the serviceability of measuring instruments. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie = News of universities. Instrumentation*. 2010;53(7). (In Russ.)
7. Danilov A.A., Sputnova D.V. Analysis of models describing the instability of measuring instruments. *175 let VNIIM im. D. I. Mendeleeva i Natsional'noy sisteme obespecheniya edinstva izmereniy: sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Sankt-Peterburg, 14–15 iyulya 2017 g.) = 175 years of D. I. Mendeleev VNIIM and the National system for ensuring the unity of measurements : collection of dokl. International Scientific and Practical Conference (St. Petersburg, July 14-15, 2017)*. Saint Petersburg, 2017:49. (In Russ.)

## Информация об авторах / Information about the authors

**Роман Олегович Лавров**

кандидат технических наук, доцент,  
заместитель начальника кафедры  
метрологического обеспечения вооружения,  
военной и специальной техники,  
Военно-космическая академия  
имени А. Ф. Можайского  
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)  
E-mail: 9432923@mail.ru

**Roman O. Lavrov**

Candidate of technical sciences, associate professor,  
deputy head of the sub-department of metrological  
support of weapons, military and special equipment,  
Military Space Academy  
named after A. F. Mozhaisky  
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

**Александр Николаевич Ольховский**

старший научный сотрудник,  
Главный научный метрологический центр  
Министерства обороны Российской Федерации  
(Россия, г. Мытищи, ул. Комарова, 13)  
E-mail: rusregister.ano@mail.ru

**Aleksandr N. Ol'khovskiy**

Senior researcher,  
Main Scientific Metrological Center  
Ministry of Defense of the Russian Federation  
(13 Komarova street, Mytishchi, Russia)

**Юрий Александрович Кувькин**

старший научный сотрудник,  
Главный научный метрологический центр  
Министерства обороны Российской Федерации  
(Россия, г. Мытищи, ул. Комарова, 13)  
E-mail: original.rus@mail.ru

**Yuri A. Kuvykin**

Senior researcher,  
Main Scientific Metrological Center  
Ministry of Defense of the Russian Federation  
(13 Komarova street, Mytishchi, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 06.07.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 13.07.2021**

**Принята к публикации/Accepted 29.09.2021**