

УДК 53.089.6

Коржов І.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВОК ВІБРОВИПРОБУВАЛЬНИХ

В статті розглянуті питання метрологічного забезпечення установок вібровипробувальних та викладена одна з можливих методик калібрування установок вібровипробувальних, в якій визначаються наступні метрологічні характеристики: діапазон відтворення віброприскорення (верхня та нижня межа номінального діапазону відтворення віброприскорення), коефіцієнти гармонік віброприскорення, коефіцієнт поперечних складових віброприскорення, коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення, точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної. В запропонованій методиці калібрування описані наступні операції калібрування: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення метрологічних характеристик, обробка результатів вимірювань. Наведені рівняння вимірювання та бюджети невизначеності вимірювання при калібруванні установок вібровипробувальних з розрахунком кожної зазначеної величини та їх вкладу (включаючи розрахунок коефіцієнтів чутливості) в сумарну невизначеність калібрування. Запропонована методика калібрування не враховує кореляцію між вхідними величинами.

Ключеві слова: *устаткування вібровипробувальна, методика калібрування, бюджет невизначеності вимірювання при калібруванні*

Вступ. У зв'язку з реформацією метрологічної системи України у напрямку гармонізації її з метрологічною системою Європейського союзу та зв'язаною з цим відміною великої кількості стандартів, включаючи ГОСТ 24555-81, що регламентує атестацію випробувального обладнання, встає актуальним питання метрологічного забезпечення випробувального обладнання, включаючи установки вібровипробувальних. Одним з можливим видом метрологічного забезпечення випробувального обладнання є його калібрування.

Калібрування установок вібровипробувальних дає змогу визначити метрологічні характеристики (далі – МХ), що дає для замовника калібрування більш детальну інформацію про його обладнання. У той же час відсутність методик калібрування (далі – МК) та більша трудомісткість і як наслідок більша ціна слід віднести до недоліків калібрування.

В статті запропоновано одна з можливих МК установок вібровипробувальних, в якій визначаються наступні МХ: верхня та нижня межа номінального діапазону відтворення віброприскорення, коефіцієнти гармонік віброприскорення, коефіцієнт поперечних складових віброприскорення, коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення, точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної. В запропонованій МК описані наступні операції калібрування: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення метрологічних характеристик, обробка результатів вимірювань. Запропонована МК не враховує кореляцію між вхідними величинами.

Операції калібрування. У запропонованій МК наведено наступні операції калібрування установок вібровипробувальних: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення МХ, обробка результатів вимірювань. При отриманні негативних результатів при зовнішньому огляді або опробуванні установка вібровипробувальна визнається непридатною до калібрування.

Засоби калібрування. При проведенні калібрування установок вібровипробувальних, застосовуються еталони та допоміжні засоби вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) для контролю умов калібрування, що наведені у таблиці 1.

Всі ЗВТ, що вказані в таблиці 1, можуть бути замінені ЗВТ не гіршими щодо діапазонів та МХ. Всі ЗВТ, які використовуються при калібруванні, повинні бути справні та мати чинні сертифікати (свідоцтва) про калібрування.

Таблиця 1

Перелік еталонів і допоміжних ЗВТ.

Назва, тип ЗВТ	МХ ЗВТ	Призначення
Аналізатор спектру вібрації типу 795C911 з двома віброперетворювачами типу С11	Робочий діапазон частот для двох каналів від 2 Гц до 18 кГц, для одного каналу від 2 Гц до 36 кГц; Діапазон вимірювання віброприскорення від 0,08 м/с ² до 675 м/с ² розширена невизначеність не більше ніж 4 %; Роздільна здатність аналізатору: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ліній	Вимірювання віброприскорення та аналіз спектру
Термогірометр TESTO 608-Н1	Вимірювання температури навколишнього середовища: від 0 °С до 50 °С, розширена невизначеність не більше ніж 0,3 °С Вимірювання відносної вологості: від 15 % до 85 % розширена невизначеність не більше ніж 2,1 %	Контроль умов калібрування

Зовнішній огляд. Проведення зовнішнього огляду установок вібровипробувальних здійснюється візуально. При проведенні зовнішнього огляду необхідно перевірити:

- 1) відсутність видимих механічних пошкоджень і дефектів установки вібровипробувальної та її складових;
- 2) наявність і повноту маркувань згідно з технічної документацією та/або експлуатаційними документами.

При невідповідності установки вібровипробувальної зазначеним вище вимогам, калібрування не проводиться до усунення виявлених недоліків.

Перевірка функціонування (опробування). Перевірка функціонування (опробування) установки вібровипробувальної здійснюється шляхом включення установки вібровипробувальної. Опробування вважається позитивним, якщо відсутня сигналізація про несправність. При отриманні негативних результатів опробування подальше калібрування установки вібровипробувальної зупиняється до усунення причин отримання негативних результатів.

Визначення МХ.

Визначення нижньої межі номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної проводять за допомогою аналізатора спектру вібрації вимірювання значення вібраційного шуму на вібростолі включеної установки вібровипробувальної, але яка в цей час не відтворює вібрацію. Вимірювання віброприскорення проводиться в контрольній точці вібростолу згідно з його експлуатаційними документами, за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною. За нижню межу номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної приймається значення віброприскорення яке не менше ніж в чотири рази більше за виміряне значення вібраційного шуму.

Визначення верхньої межі номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної здійснюється шляхом перевірки аналізатором спектру вібрації спроможності установки вібровипробувальної відтворювати верхню межу діапазону, що встановлена в експлуатаційних документах. За верхню межу номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної слід прийняти найменше значення з відтворюваних в номінальному діапазоні частот при параметрах збудження, що не перевищують нормовані в експлуатаційних документах значень.

За номінальний діапазон частот приймають діапазон, в якому забезпечено відтворення віброприскорення в його номінальному діапазоні.

Коефіцієнти гармонік віброприскорення K_H установки вібровипробувальної визначають в номінальному діапазоні частот зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, на верхніх значеннях віброприскорення номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної, без навантаження, в трьох точках кріплення за допомогою аналізатора спектру вібрації. Вимірювання віброприскорення проводиться за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною. За коефіцієнт гармонік

віброприскорення K_H установки вібровипробувальної для встановленого режиму відтворення вібрації приймають найбільше з визначених за формулою (1) значень в трьох точках кріплення.

$$K_H = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_j^2}}{a_0}, \quad (1)$$

де a_j – значення віброприскорення для гармонік для яких значення віброприскорення не менше 1 % від значення віброприскорення першої гармоніки;

n – кількість гармонік для яких значення віброприскорення не менше 1 % від значення віброприскорення першої гармоніки;

a_0 – значення віброприскорення для першої гармоніки (на частоті, що задана на установці вібровипробувальній).

Коефіцієнт поперечних складових віброприскорення K_{Π} установки вібровипробувальної визначають в номінальному діапазоні частот зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, на верхніх значеннях віброприскорення номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної, без навантаження, в трьох точках кріплення шляхом вимірюванням віброприскорення аналізатором спектру вібрації на трьох взаємно перпендикулярних гранях перехідного куба (див. рис. 1).

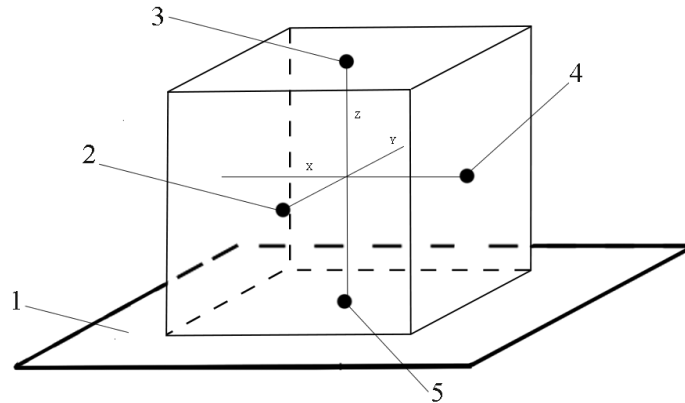


Рис. 1. Розташування вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації при визначенні коефіцієнту поперечних складових віброприскорення

1 – поверхня вібростолу; 2 – точка вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації вздовж осі Y; 3 – точка вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації вздовж осі Z; 4 – точка вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації вздовж осі X; 5 – точка кріплення

За коефіцієнт поперечних складових віброприскорення K_{Π} установки вібровипробувальної для встановленого режиму відтворення вібрації приймають найбільше з визначених за формулою (2) значень в трьох точках кріплення.

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}{a_z}, \quad (2)$$

де a_x, a_y, a_z – вимірювання аналізатором спектру вібрації віброприскорення вдвож осі X, Y, Z відповідно.

Коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення Θ установки вібровипробувальної визначають в номінальному діапазоні частот зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, на верхніх значеннях віброприскорення номінального діапазону відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної, без навантаження, шляхом вимірювання віброприскорення аналізатором спектру вібрації в трьох точках кріплення (що максимально віддалені одна від одної) та контрольній точці. Вимірювання віброприскорення проводиться за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною. Коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення Θ установки вібровипробувальної для встановленого режиму відтворення вібрації розраховують за формулою:

$$\Theta = \frac{\max |a_i - a_{\epsilon}|}{a_{\epsilon}}, \quad (3)$$

де a_i – значення віброприскорення виміряних аналізатором спектру вібрації в кожній з трьох точок кріплення;

a_{ϵ} – значення віброприскорення виміряне аналізатором спектру вібрації в контрольній точці.

Точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної визначається за допомогою аналізатора спектру вібрації у точках 5; 25; 50; 75; 95 % від діапазону відтворення віброприскорення, на частотах зі стандартизованого ряду частот для трьохоктавних смуг по ISO 226, що може відтворити установка вібровипробувальна, без навантаження і з масою навантаження на столі установки вібровипробувальної, що відповідає номінальній масі за експлуатаційними документами.

Для кожного режиму відтворення вібрації проводять не менше п'яти вимірювань віброприскорення за напрямком відтворення вібрації установкою вібровипробувальною.

Обробка результатів вимірювання.

Обробка результатів визначення коефіцієнту гармонік (нелінійних спотворень) віброприскорення K_H установки вібровипробувальної.

Рівняння визначення коефіцієнту гармонік (нелінійних спотворень) віброприскорення K_H :

$$K_H = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\text{НА}} + \delta \dot{a}_{\text{АІ}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\text{А} \times \text{О}})^2}}{a_0 + \delta a_{\text{НА}} + \delta \dot{a}_{\text{АІ}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\text{А} \times \text{О}}}, \quad (4)$$

де $\delta a_{\text{СА}}$ – поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації;

$\delta a_{\text{ВМ}}$ – поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації;

δa_t – поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації;

$\delta a_{\text{АЧХ}}$ – поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації.

Бюджет невизначеності наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Бюджет невизначеності визначення коефіцієнту гармонік K_H

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
a_0	a_0	-	-	-	-
a_j	a_j	-	-	-	-
$\delta a_{\text{СА}}$	$\delta a_{\text{СА}}$	$u(\delta a_{\text{СА}})$	нормальний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{НА}}}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{НА}}} u(\delta a_{\text{НА}})$
$\delta a_{\text{ВМ}}$	$\delta a_{\text{ВМ}}$	$u(\delta a_{\text{ВМ}})$	нормальний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\text{АІ}}}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\text{АІ}}} u(\delta \dot{a}_{\text{АІ}})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \ddot{a}_t}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \ddot{a}_t} u(\delta \ddot{a}_t)$
$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$u(\delta a_{\text{АЧХ}})$	рівномірний	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}}$	$\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}} u(\delta a_{\text{АЧХ}})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
K_H	K_H	$u(K_H)$	нормальний	2	$U(K_H)$

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації $\delta a_{\text{СА}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значень віброприскорень гармонік $u(\delta a_{\text{СА}})$:

$$u(\delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}) = \frac{U(\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}})}{k}, \quad (5)$$

де $U(a_{CA})$ – розширена невизначеність вимірювання аналізатора спектру вібрації, що вказана в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатором спектру вібрації;

k – коефіцієнт охопту, що вказаний в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}} = \frac{2n(\delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (6)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатором спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації δa_{BM} визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{BM})$:

$$u(\delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}) = \frac{U(\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}})}{k}, \quad (7)$$

де $U(a_{BM})$ – розширена невизначеність вимірювання аналізатора спектру вібрації, що вказана в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування;

k – коефіцієнт охопту, що вказаний в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}} = \frac{2n(\delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta\dot{a}_{\dot{N}\dot{A}} + \delta\dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (8)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування, що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t :

$$u(\delta\dot{a}_t) = \frac{U(\dot{a}_t)}{k}, \quad (9)$$

де $U(a_t)$ – розширена невизначеність температурного коефіцієнта чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації, що вказана в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування;

k – коефіцієнт охопту, що вказаний в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування.

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_t} = \frac{2n(\delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (10)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ для частот відповідних гармонік визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ для частот відповідних гармонік визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована:

$$u(\delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) = 1 - \frac{K + n}{n(K + 1)}, \quad (11)$$

де:

$$\hat{E} = \frac{f_{\hat{a}}}{f_1}, \quad (12)$$

$$n = \frac{f_2}{f_1}, \quad (13)$$

де f_v – верхня межа номінального діапазону відтворення вібрації установки вібровипробувальної;

f_1, f_2 – найменше та найбільше зі значень частот уставних резонансів вібровимірювального перетворювача (з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}} = \frac{2n(\delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) + 2\sum_{i=1}^n a_j}{2(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}} - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_j + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2}}{(a_0 + \delta a_{\dot{N}\dot{A}} + \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})^2} \quad (14)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(K_H)$:

$$u(\hat{E}_t) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\dot{N}\dot{A}}) + \left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\dot{A}\dot{I}}) + \left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_t}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_t) + \left(\frac{\partial K_H}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})} \quad (15)$$

Розширена невизначеність $U(K_H)$:

$$U(\hat{E}_t) = k \cdot u(\hat{E}_t), \quad (16)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Обробка результатів визначення коефіцієнту поперечних складових віброприскорення K_{Π} установки вібропробувальної.

Рівняння визначення коефіцієнту поперечних складових віброприскорення K_{Π} :

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{(a_X + \delta a_{\text{ВМ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}})^2 + (a_Y + \delta a_{\text{ВМ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}})^2}}{a_Z + \delta a_{\text{ВМ}} + \delta a_t + \delta a_{\text{АЧХ}} - \delta a_{K_H}} \quad (17)$$

де $\delta \dot{a}_{\dot{E}_i}$ – поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації.

Бюджет невизначеності наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Бюджет невизначеності визначення коефіцієнту поперечних складових K_{Π}

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
a_X	a_X	-	-	-	-
a_Y	a_Y	-	-	-	-
a_Z	a_Z	-	-	-	-
$\delta a_{\text{ВМ}}$	$\delta a_{\text{ВМ}}$	$u(\delta a_{\text{ВМ}})$	нормальний	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{ВМ}}}$	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{ВМ}}} u(\delta a_{\text{ВМ}})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_t}$	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_t} u(\delta a_t)$
$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$\delta a_{\text{АЧХ}}$	$u(\delta a_{\text{АЧХ}})$	рівномірний	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}}$	$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta a_{\text{АЧХ}}} u(\delta a_{\text{АЧХ}})$
δa_{K_H}	δa_{K_H}	$u(\delta \dot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	$-\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{K_H}}$	$-\frac{\partial K_H}{\partial \delta a_{K_H}} u(\delta a_{K_H})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
K_{Π}	K_{Π}	$u(K_{\Pi})$	нормальний	2	$U(K_{\Pi})$

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації $\delta a_{\text{ВМ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{\text{ВМ}})$ згідно з (7).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_{\Pi}}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{E}_i}} = \frac{2(\dot{a}_Y + \dot{a}_X + 2\delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + 2\delta \dot{a}_t + 2\delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})}{2(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i}) \sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2} - \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\dot{A}_i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\dot{A} \times \dot{O}} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i})^2} \quad (18)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування, що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t згідно з (9).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_t} = \frac{2(\dot{a}_Y + \dot{a}_X + 2\delta \dot{a}_{\hat{A}i} + 2\delta \dot{a}_t + 2\delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})}{2(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i}) \sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2} - \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i})^2} \quad (19)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована згідно (11-13).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}}} = \frac{2(\dot{a}_Y + \dot{a}_X + 2\delta \dot{a}_{\hat{A}i} + 2\delta \dot{a}_t + 2\delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})}{2(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i}) \sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2} - \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i})^2} \quad (20)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування або в експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $\delta \dot{a}_{\hat{E}i}$ розраховується за формулою:

$$\delta \dot{a}_{\hat{E}i} = \hat{E}_i \cdot \dot{a}_Z, \quad (21)$$

де K_H – згідно з формулою (1).

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \dot{a}_{\hat{E}i})$ розраховується за формулою (15).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{E}i}} = \frac{\sqrt{(\dot{a}_Y + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2 + (\dot{a}_X + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}})^2}}{(\dot{a}_Z + \delta \dot{a}_{\hat{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}} - \delta \dot{a}_{\hat{E}i})^2} \quad (22)$$

Закон розподілу – нормальний.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(K_{II})$:

$$u(\hat{E}_i) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{A}i}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\hat{A}i}) + \left(\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_t}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_t) + \left(\frac{\partial K_I}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\hat{A} \times \hat{O}}) - \left(\frac{\partial \hat{E}_i}{\partial \delta \dot{a}_{\hat{E}i}}\right)^2 u^2(\delta \dot{a}_{\hat{E}i})} \quad (23)$$

Розширена невизначеність $U(K_{II})$:

$$U(\hat{E}_i) = k \cdot u(\hat{E}_i), \quad (24)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Обробка результатів визначення коефіцієнту нерівномірності розподілу віброприскорення Θ .

Рівняння визначення коефіцієнту нерівномірності розподілу віброприскорення Θ :

$$\Theta = \frac{(a_i + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{A \times \dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}_i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}_i}) - (a_e + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{A \times \dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}_i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}_i})}{a_e + \delta\dot{a}_{\dot{A}i} + \delta\dot{a}_t + \delta\dot{a}_{A \times \dot{O}} - \delta\dot{a}_{\dot{E}_i} - \delta\dot{a}_{\dot{E}_i}}, \quad (25)$$

де $\delta\dot{a}_{\dot{E}_i}$ – поправка віброприскорення, що викликана поперечними складовими вібрації.

Бюджет невизначеності наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

Бюджет невизначеності визначення коефіцієнту нерівномірності розподілу віброприскорення Θ

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
a_i	a_i	-	-	-	-
a_k	a_k	-	-	-	-
δa_{BM}	δa_{BM}	$u(\delta a_{BM})$	нормальний	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{BM}}$	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{BM}} u(\delta a_{BM})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_t}$	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_t} u(\delta a_t)$
δa_{ACH}	δa_{ACH}	$u(\delta a_{ACH})$	рівномірний	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{ACH}}$	$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{ACH}} u(\delta a_{ACH})$
$\delta \dot{a}_{\dot{E}_i}$	$\delta \dot{a}_{\dot{E}_i}$	$u(\delta \dot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_H}}$	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_H}} u(\delta a_{K_H})$
$\delta \dot{a}_{\dot{E}_i}$	$\delta \dot{a}_{\dot{E}_i}$	$u(\delta \dot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_{II}}}$	$-\frac{\partial \Theta}{\partial \delta a_{K_{II}}} u(\delta a_{K_{II}})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
Θ	Θ	$u(\Theta)$	нормальний	2	$U(\Theta)$

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації δa_{BM} визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності виміряного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{BM})$ згідно з (7).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \dot{a}_{\dot{A}i}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{(a_e + \delta \dot{a}_{\dot{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{A \times \dot{O}} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i})^2} \quad (26)$$

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t згідно з (9).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \dot{a}_t} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{(a_e + \delta \dot{a}_{\dot{A}i} + \delta \dot{a}_t + \delta \dot{a}_{A \times \dot{O}} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i} - \delta \dot{a}_{\dot{E}_i})^2} \quad (27)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована згідно (11-13).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{\left(a_e + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} \right)^2} \quad (28)$$

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування або в експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}$ розраховується за формулою:

$$\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} = \hat{E}_1 \cdot \dot{a}_{\text{неліній}} \quad (29)$$

де $K_{\text{Н}}$ – згідно з формулою (1);

$a_{\text{вим}}$ – виміряне значення віброприскорення a_i , та a_k відповідно для поправки значень a_i , та a_k .

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1})$ розраховується за формулою (15).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{\left(a_e + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} \right)^2} \quad (30)$$

Закон розподілу – нормальний.

Поправка віброприскорення, що викликана поперечними складовими вібрації $\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}$ розраховується за формулою:

$$\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} = \hat{E}_1 \cdot \dot{a}_{\text{неліній}} \quad (31)$$

де $K_{\text{П}}$ – згідно з формулою (2);

$a_{\text{вим}}$ – виміряне аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1})$ розраховується за формулою (23).

Коефіцієнт чутливості:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} = \frac{\dot{a}_s - \dot{a}_e}{\left(a_e + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} \right)^2} \quad (32)$$

Закон розподілу – нормальний.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(\Theta)$:

$$u(\Theta) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}}) + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_t} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_t) + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}}) - \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}) - \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}} \right)^2 u^2(\delta \ddot{a}_{\hat{E}_1})} \quad (33)$$

Розширена невизначеність $U(\Theta)$:

$$U(\Theta) = k \cdot u(\Theta), \quad (34)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Обробка результатів вимірювання відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної.

Рівняння вимірювання віброприскорення має вигляд:

$$\Delta a = a_{\hat{0}\hat{A}} + \delta \ddot{a}_{\hat{0}\hat{A}} - (\dot{a}_{\text{неліній}} + \delta \ddot{a}_{\hat{\lambda} \hat{1}} + \delta \ddot{a}_t + \delta \ddot{a}_{\lambda \times \bar{0}} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1} - \delta \ddot{a}_{\hat{E}_1}), \quad (35)$$

де Δa – відхилення віброприскорення, що задане установкою вібровипробувальною від вимірюного значення;
 $a_{УВ}$ – віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній;
 $\delta a_{УВ}$ – поправка віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній.
 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Бюджет невизначеності вимірювання відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної

Величина	Значення	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
$a_{УВ}$	-	-	-	-	-
$\delta a_{УВ}$	$\delta a_{УВ}$	$u(\delta a_{УВ})$	рівномірний	1	$u(\delta a_{УВ})$
$a_{ВМ}$	$a_{ВМ}$	$u(a_{ВМ})$	нормальний	-1	$-u(a_{ВМ})$
$\delta a_{ВМ}$	$\delta a_{ВМ}$	$u(\delta a_{ВМ})$	нормальний	-1	$-u(\delta a_{ВМ})$
δa_t	δa_t	$u(\delta a_t)$	рівномірний	-1	$-u(\delta a_t)$
$\delta a_{АЧХ}$	$\delta a_{АЧХ}$	$u(\delta a_{АЧХ})$	рівномірний	-1	$-u(\delta a_{АЧХ})$
$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	1	$u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$
$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$	$u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$	нормальний	1	$-u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охопту	Розширена невизначеність
Δa	Δa	$u(\Delta a)$	нормальний	2	$U(\Delta a)$

Поправка віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній, $\delta a_{УВ}$ (викликана кінцевим дозволом), приймається рівною нулю.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що задане на установці вібровипробувальній, $u(\delta a_{УВ})$:

$$u(\delta F_{\delta}) = \frac{LBS}{2\sqrt{3}}, \quad (36)$$

де LBS – одиниця молодшого розряду установки вібровипробувальної, при задані значення віброприскорення.

Закон розподілу – рівномірний.

Виміряне аналізатором спектру вібрації віброприскорення, $a_{ВМ}$:

$$\dot{a}_{\dot{a}_{ei}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{a}_i, \quad (37)$$

де a_i – i -те виміряне аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення;
 n – кількість вимірювань.

Оцінка стандартної невизначеності вимірюного аналізатором спектру вібрації віброприскорення, $u(a_{ВМ})$:

$$u(\dot{a}_{\dot{a}_{ei}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{a}_i - \dot{a}_{\dot{a}_{ei}})^2}{n(n-1)}} \quad (38)$$

Закон розподілу – нормальний.

Поправка віброприскорення, що виміряне аналізатором спектру вібрації $\delta a_{ВМ}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Оцінка стандартної невизначеності вимірюного аналізатором спектру вібрації значення віброприскорення $u(\delta a_{ВМ})$ згідно з (7).

Закон розподілу – нормальний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування аналізатора спектру вібрації.

Поправка віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t може бути прийнята рівною нулю при виконанні умов калібрування що відповідають умовам при яких проводилось калібрування вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана температурним коефіцієнтом чутливості вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації δa_t згідно з (9).

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нерівномірністю АЧХ вібровимірювального перетворювача аналізатора спектру вібрації $\delta a_{\text{АЧХ}}$ визначається з сертифікату (свідоцтва) про калібрування або з експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача, при відсутності в зазначених документах може бути розрахована згідно (11-13).

Закон розподілу – рівномірний, якщо іншого не зазначено в сертифікаті (свідоцтві) про калібрування або в експлуатаційних документів вібровимірювального перетворювача.

Поправка віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$ розраховується за формулою (29).

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$ розраховується за формулою (15).

Закон розподілу – нормальний.

Поправка віброприскорення, що викликана поперечними складовими вібрації $\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}$ розраховується за формулою (31).

Оцінка стандартної невизначеності поправки віброприскорення, що викликана нелінійними спотвореннями вібрації $u(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})$ розраховується за формулою (23).

Закон розподілу – нормальний.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності $u(\Delta a)$:

$$u(\Delta \dot{a}) = \sqrt{u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{O}\dot{A}}) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{a}\dot{a}\dot{i}}) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{A}\dot{i}}) + u^2(\delta \ddot{a}_t) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{A}\times\dot{O}})u^2 + (\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i}) + u^2(\delta \ddot{a}_{\dot{E}_i})} \quad (39)$$

Розширена невизначеність $U(\Delta a)$:

$$U(\Delta \dot{a}) = k \cdot u(\Delta \dot{a}), \quad (40)$$

де k – коефіцієнт охопту, що дорівнює 2, для довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Розрахунок бюджету невизначеності проводять для кожної точки калібрування.

Висновки. Викладена в статті МК описує процедури визначення МХ установок вібровипробувальних: діапазон відтворення віброприскорення (верхня та нижня межа номінального діапазону відтворення віброприскорення), коефіцієнти гармонік віброприскорення, коефіцієнт поперечних складових віброприскорення, коефіцієнт нерівномірності розподілу віброприскорення, точність відтворення віброприскорення установки вібровипробувальної. В запропонованій МК описані основні операції калібрування, а саме: зовнішній огляд, перевірка функціонування (опробування), визначення МХ, обробка результатів вимірювань. Наведені рівняння вимірювання та бюджети невизначеності вимірювання при калібруванні установок вібровипробувальних з розрахунком кожної зазначеної величини та їх вкладу (включаючи розрахунок коефіцієнтів чутливості) в сумарну невизначеність калібрування. Запропонована МК не враховує кореляцію між входними величинами, що обумовлено великою трудомісткістю їх розрахунку при практичній реалізації процедури калібрування установок вібровипробувальних.

Перед використанням зазначеної МК слід провести верифікацію та валідацію згідно з встановленою процедурою у калібрувальній лабораторії.

Інформаційні джерела:

1. ГОСТ 24555-81 Система государственных испытаний продукции. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения
2. ISO 226:2003 Acoustics - Normal equal-loudness-level contours

И.М. Коржов

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ УСТАНОВОК ВИБРОИСПЫТАТЕЛЬНЫХ

В статье рассмотрены вопросы метрологического обеспечения установок виброиспытательных и изложена одна из возможных методик калибровки установок виброиспытательных, в которой определяются следующие метрологические характеристики: диапазон воспроизведения виброускорения (верхняя и нижняя граница номинального диапазона воспроизведения виброускорения), коэффициенты гармоник виброускорения, коэффициент поперечных составляющих виброускорения, коэффициент неравномерности распределения виброускорения, точность воспроизведения виброускорения установки виброиспытательной. В предложенной методике калибровки описаны следующие операции калибровки: внешний осмотр, проверка функционирования (опробования), определение метрологических характеристик, обработка результатов измерений. Приведенные уравнения измерения и бюджеты неопределенности измерения при калибровке установок виброиспытательных с расчетом каждой указанной величины и их вклада (включая расчет коэффициентов чувствительности) в суммарную неопределенность калибровки. Предложенная методика калибровки не учитывает корреляцию между входными величинами.

Ключевые слова: оборудования виброиспытательное, методика калибровки, бюджет неопределенности измерения при калибровке

Ihor Korzhov

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

METHOD OF CALIBRATION VIBRATION TESTING EQUIPMENT

An the article, the questions of metrological provision of vibration testing equipment are discussed and one of the possible calibration methods for vibration testing equipment is described, in which the following metrological characteristics are determined: vibration acceleration reproduction range (upper and lower limit of the vibration acceleration nominal range), vibration acceleration coefficients, transverse vibration acceleration coefficient, unevenness coefficient distribution of vibration acceleration, accuracy of reproduction vibration acceleration. The following calibration procedures are described in the proposed calibration procedure: external inspection, testing of functioning (testing), determination of metrological characteristics, processing of measurement results. The reduced measurement equations and budgets of measurement uncertainty in the calibration of vibration test sets with the calculation of each specified value and their contribution (including the calculation of the sensitivity coefficients) to the total uncertainty of the calibration. The proposed method of calibration does not take into account the correlation between the input quantities.

Keywords: vibration testing equipment, calibration procedure, uncertainty budget for calibration measurement

Стаття надійшла до редакції 10.06.2018