УДК 519.863

ІНТЕРВАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ДОПУСКІВ ПРИ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВАХ

Володимир Крищук, Галина Шило., Микола Гапоненко

Запорізький державний технічний університет, кафедра КВР

Розглянута одночасна дія зовнішніх впливів на межі інтервальних величин. Показано, що при додаванні і множенні інтервальних величин можлива компенсація зовнішніх впливів. При їх відніманні і діленні можлива мінімізація відхилень. Використовується узагальнений зовнішній вплив.

Simultaneous effect of exposures on bounds of interval values is considered. Compensation of exposures is showed to be possible for addition and multiplying of interval values. The minimization of deviations is possible for multiplying and division. The generalized exposure is used

1 Вступ

При виробництві електронних апаратів кожна контрольована величина **a** найчастіше характеризується набором параметрів

$$P = \{\underline{\delta}_н, a_н, \overline{\delta}_н\}$$

де $a_н$ – номінальне значення величини **a** ;

$\underline{\delta}_н, \overline{\delta}_н$ – нижнє і верхнє відносне відхилення від величини **a** .

Множині P відповідає інтервальна множина

$$A = \{\underline{a}_н, a_н, \overline{a}_н\},$$

де $\underline{a}_н, \overline{a}_н$ – нижнє і верхнє значення величини **a** .

Інтервальній множинні A відповідає інтервал:

$$\mathbf{a} = [\underline{\mathbf{a}}_н; \overline{\mathbf{a}}_н]$$

Зовнішні впливи приводять до зміни меж інтервалу **a**. Оскільки врахування кожного із зовнішніх впливів є багатоінваріантною задачею виникає потреба провести їх узагальнення. Важливою задачею є також дослідження можливості компенсації і мінімізації зовнішніх впливів на величину контрольованих параметрів.

2 Обчислення допусків

Зовнішні впливи змінюють межу інтервалу **a** на величину:

$$\Delta\mathbf{a} = \sum_{i=1}^{n} \Delta\mathbf{a}_i = a\sum_{i=1}^{n} \alpha_i L_i = a\alpha_1 \sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i}{\alpha_1} L_i = a\alpha L\,,$$

де L_i і α_i – амплітуда і коефіцієнт i-го зовнішнього впливу;

L і α – узагальнені амплітуда і коефіцієнт зовнішнього впливу.

Будемо також враховувати, що коефіцієнт зовнішнього впливу має відхилення від свого номінального значення і задається інтервалом

$$\alpha = [\underline{\alpha}; \overline{\alpha}],$$

де $\underline{\alpha}$ і $\overline{\alpha}$ – нижнє і верхнє відхилення коефіцієнтів зовнішнього впливу.

Амплітуда зовнішнього впливу також є інтервалом

$$L = [\underline{L}; \overline{L}],$$

де $\underline{L}$ – амплітуда нижнього відхилення зовнішнього впливу.

де $\overline{L}$ – амплітуда верхнього відхилення зовнішнього впливу.

Амплітуда нижнього відхилення $\underline{L}$ від'ємна, а верхнього додатна. Коефіцієнт α зовнішнього впливу може бути і від'ємним і додатним. При зміні зовнішніх впливів в діапазоні $[\underline{L}; \overline{L}]$ межі інтервалу $\mathbf{a}$ також стають інтервалами:

$$\underline{\mathbf{a}} = [\,\underline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\underline{L}); \underline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\overline{L})]\,; \quad \overline{\mathbf{a}} = [\overline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\underline{L}); \overline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\overline{L})]\,. \tag{1}$$

Співвідношенню (1) відповідає додатний характер коефіцієнту зовнішнього впливу. Якщо $\alpha < 0$, то співвідношення (1) набувають вигляд:

$$\underline{\mathbf{a}} = [\,\underline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\underline{L}); \underline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\overline{L})]\,; \quad \overline{\mathbf{a}} = [\overline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\underline{L}); \overline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\overline{L})]\,. \tag{2}$$

Інтервальна множина при $\alpha > 0$ характеризується інтервалом:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= [\min\{\underline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\underline{L}); \underline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\overline{L})\}; \max\{\overline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\underline{L}); \overline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\overline{L})\}] = \\ &= [\,\underline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\overline{L})\}; \overline{a}_н(1+\overline{\alpha}\,\overline{L})\}], \qquad (\alpha > 0) \end{aligned} \tag{3}$$

Від'ємному характеру коефіцієнту зовнішнього впливу відповідає інтервал:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= [\min\{\underline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\underline{L}); \underline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\overline{L})\}; \max\{\overline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\underline{L}); \overline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\overline{L})\}] = \\ &= [\,\underline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\overline{L})\}; \overline{a}_н(1+\underline{\alpha}\,\underline{L})\}], \qquad (\alpha < 0) \end{aligned} \tag{4}$$

Співвідношення (3) і (4) дозволяють оцінити граничні відхилення контрольованого параметру $\mathbf{a}$ при зовнішніх впливах. Але обчислення з допомогою цих виразів допусків у складних системах може привести до значних похибок оскільки не буде враховувати одночасної дії зовнішніх впливів на межі множини A. Тому потрібно також розглянути взаємодію меж інтервалів у складних системах при одночасній дії цих впливів. При цьому виникає можливість компенсації і мінімізації допусків.

3 Компенсація допусків

Компенсація допусків, очевидно, можлива тільки при взаємодії між параметрами з різними знаками коефіцієнту зовнішнього впливу. Коли в моделі електронного апарата відбувається складання параметрів **a** і **x** з коефіцієнтами $\alpha_a > 0$ і $\alpha_x < 0$ утворюється *інтервальна сума* [1, 2]:

$$\mathbf{b} = \mathbf{a} + \mathbf{x} = [\underline{\mathbf{a}}; \overline{\mathbf{a}}] + [\underline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{x}}] = [\underline{\mathbf{a}} + \underline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{a}} + \overline{\mathbf{x}}] = [\underline{\mathbf{b}}; \overline{\mathbf{b}}]$$

Нижня межа суми з урахуванням виразів (1) і (2) набуває вигляду:

$$\underline{\mathbf{b}} = \underline{\mathbf{a}} + \underline{\mathbf{x}} = [\underline{a}_{н}(1+\overline{\alpha}_a \underline{L}); \underline{a}_{н}(1+\overline{\alpha}_a \overline{L})] + [\underline{x}_{н}(1+\underline{\alpha}_x \underline{L}); \underline{x}_{н}(1+\underline{\alpha}_x \overline{L})] =$$

$$= [\underline{a}_{н} + \underline{x}_{н} + (\underline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \underline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\underline{L};\ \underline{a}_{н} + \underline{x}_{н} + (\underline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \underline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\overline{L}] \quad (5)$$

Верхня межа інтервалу визначається інтервальним співвідношенням:

$$\overline{\mathbf{b}} = \overline{\mathbf{a}} + \overline{\mathbf{x}} = [\overline{a}_{н}(1+\overline{\alpha}_a \underline{L}); \overline{a}_{н}(1+\overline{\alpha}_a \overline{L})] + [\overline{x}_{н}(1+\underline{\alpha}_x \underline{L}); \overline{x}_{н}(1+\underline{\alpha}_x \overline{L})] =$$

$$= [\overline{a}_{н} + \overline{x}_{н} + (\overline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \overline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\underline{L};\ \overline{a}_{н} + \overline{x}_{н} + (\overline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \overline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\overline{L}] \quad (6)$$

Інтервали (5) і (6) вироджуються у дійсне число, коли виконуються умови:

$$\left.\begin{aligned} \underline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \underline{x}_{н}\underline{\alpha}_x &= 0 \\ \overline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \overline{x}_{н}\underline{\alpha}_x &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Умови (7) є умовами компенсації зовнішніх впливів на межі інтервалу **b**. При їх виконанні відносне відхилення параметру **b** не змінюється в усьому діапазоні амплітуд узагальненого впливу. Якщо умови (7) не виконуються, контрольований параметр **b** описується співвідношенням:

$$\begin{aligned} \mathbf{b} = [&\min\{\ \underline{a}_{н} + \underline{x}_{н} + (\underline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \underline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\underline{L};\ \underline{a}_{н} + \underline{x}_{н} + (\underline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \underline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\overline{L}\}; \\ &\max\{\ \overline{a}_{н} + \overline{x}_{н} + (\overline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \overline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\underline{L};\ \overline{a}_{н} + \overline{x}_{н} + (\overline{a}_{н}\overline{\alpha}_a + \overline{x}_{н}\underline{\alpha}_x)\overline{L}\}] \end{aligned}$$

Компенсаційні властивості при взаємодії додатних і від'ємних коефіцієнтів зовнішніх впливів проявляються і при *множенні двох інтервалів*. Ця операція породжує інтервал:

$$\mathbf{b} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x} = [\underline{\mathbf{a}}; \overline{\mathbf{a}}] \cdot [\underline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{x}}] = [\underline{\mathbf{a}} \cdot \underline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{a}} \cdot \overline{\mathbf{x}}] = [\underline{\mathbf{b}}; \overline{\mathbf{b}}]$$

Якщо $\alpha_a > 0$ і $\alpha_x < 0$, то нижня межа добутку приймає вигляд:

$$\underline{\mathbf{b}} = \underline{\mathbf{a}} \cdot \underline{\mathbf{x}} = [\underline{a}_{н}(1+\overline{\alpha}_a \underline{L}); \underline{a}_{н}(1+\overline{\alpha}_a \overline{L})] \cdot [\underline{x}_{н}(1+\underline{\alpha}_x \underline{L}); \underline{x}_{н}(1+\underline{\alpha}_x \overline{L})] =$$

$$= [\underline{a}_{н} \cdot \underline{x}_{н} + \underline{a}_{н} \cdot \underline{x}_{н}(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a\underline{\alpha}_x\underline{L})\underline{L};\ \underline{a}_{н} \cdot \underline{x}_{н} + \underline{a}_{н} \cdot \underline{x}_{н}(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a\underline{\alpha}_x\overline{L})\overline{L}]. \quad (8)$$

Для верхньої межі виконується інтервальне співвідношення:

$$\overline{\mathbf{b}} = \overline{\mathbf{a}} \cdot \overline{\mathbf{x}} = [\overline{a}_н(1+\overline{\alpha}_a \underline{L}); \overline{a}_н(1+\overline{\alpha}_a \overline{L})] \cdot [\overline{x}_н(1+\underline{\alpha}_x \underline{L}); \overline{x}_н(1+\underline{\alpha}_x \overline{L})] =$$

$$= [\overline{a}_н \cdot \overline{x}_н + \overline{a}_н \cdot \overline{x}_н(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \underline{L})\underline{L};\ \overline{a}_н \cdot \overline{x}_н + \overline{a}_н \cdot \overline{x}_н(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \overline{L})\overline{L}]. \quad (9)$$

Межі інтервалів $\underline{\mathbf{b}}$ і $\overline{\mathbf{b}}$ перетворюються у дійсні числа, коли виконуються умови:

$$\left.\begin{array}{l} \overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \underline{L} = 0 \\ \overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \overline{L} = 0 \end{array}\right\} \quad (10)$$

Із виразів (10) випливає, що компенсація дії зовнішніх впливів при множенні контрольованих параметрів можлива тільки в одній точці при визначеній амплітуді. Але, якщо $\overline{\alpha}_a L << 1$, або $\underline{\alpha}_x L << 1$, то умова (10) замінюється наближеною умовою компенсації

$$\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x = 0 \quad (11)$$

Якщо умови (10) не виконуються, то значення контрольованого параметру $\mathbf{b}$ лежить в діапазоні:

$$\begin{array}{l} \mathbf{b} = [\min\{\ \underline{a}_н \underline{x}_н(1+(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \underline{L})\underline{L});\ \underline{a}_н \underline{x}_н(1+(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \overline{L})\overline{L})\}; \\ \qquad \max\{\ \overline{a}_н \overline{x}_н(1+(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \underline{L})\underline{L});\ \overline{a}_н \overline{x}_н(1+(\overline{\alpha}_a + \underline{\alpha}_x + \overline{\alpha}_a \underline{\alpha}_x \overline{L})\overline{L})\}] \end{array} \quad (12)$$

Співвідношення (12) використовується при розрахунках відхилень параметрів при їх множенні у загальному випадку дії зовнішніх впливів.

4 Мінімізація допусків

Операції віднімання і ділення, які також використовуються при моделюванні електронних приладів, не дозволяють виконати компенсацію дії зовнішніх впливів. Але залишається можливість мінімізації їх дії. *Операція віднімання* виконується з допомогою виразу:

$$\mathbf{b} = \mathbf{a} - \mathbf{x} = [\underline{\mathbf{a}}; \overline{\mathbf{a}}] = [\ \underline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{x}}] = [\underline{\mathbf{a}} - \overline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{a}} - \underline{\mathbf{x}}] = [\underline{\mathbf{b}}; \overline{\mathbf{b}}]$$

Підстановка співвідношень (1)-(4) при $\alpha_a > 0$, $\alpha_x < 0$ дозволяє надати межам інтервалу $\mathbf{b}$ вигляду:

$$\underline{\mathbf{b}} = \underline{\mathbf{a}} - \overline{\mathbf{x}} = [\underline{a}_н(1+\overline{\alpha}_a \underline{L}); \underline{a}_н(1+\overline{\alpha}_a \overline{L})] - [\overline{x}_н(1+\underline{\alpha}_x \underline{L}); \overline{x}_н(1+\underline{\alpha}_x \overline{L})] =$$

$$= [\underline{a}_н - \overline{x}_н + (\underline{a}_н \overline{\alpha}_x \underline{L} - \overline{x}_н \underline{\alpha}_x \overline{L});\ \underline{a}_н - \overline{x}_н + (\underline{a}_н \overline{\alpha}_x \overline{L} - \overline{x}_н \underline{\alpha}_x \underline{L})]; \quad (12)$$

$$\overline{\mathbf{b}} = \overline{\mathbf{a}} - \underline{\mathbf{x}} = [\overline{a}_н(1+\overline{\alpha}_a \underline{L}); \overline{a}_н(1+\overline{\alpha}_a \overline{L})] - [\underline{x}_н(1+\underline{\alpha}_x \underline{L}); \underline{x}_н(1+\underline{\alpha}_x \overline{L})] =$$

$$= [\overline{a}_н - \underline{x}_н + (\overline{a}_н \overline{\alpha}_x \underline{L} - \underline{x}_н \underline{\alpha}_x \overline{L});\ \overline{a}_н - \underline{x}_н + (\overline{a}_н \overline{\alpha}_x \overline{L} - \underline{x}_н \underline{\alpha}_x \underline{L})]. \quad (13)$$

Співвідношення (12) і (13) можливо записати у вигляді дійсного числа і інтервалу:

$$\underline{b} = \underline{a}_н - \overline{x}_н + [\underline{a}_н \overline{\alpha}_a \underline{L} - \overline{x}_н \underline{\alpha}_x \overline{L}; \underline{a}_н \overline{\alpha}_a \overline{L} - \overline{x}_н \underline{\alpha}_x \underline{L}];$$

$$\overline{b} = \overline{a}_н - \underline{x}_н + [\overline{a}_н \overline{\alpha}_a \underline{L} - \underline{x}_н \underline{\alpha}_x \overline{L}; \overline{a}_н \overline{\alpha}_a \overline{L} - \underline{x}_н \underline{\alpha}_x \underline{L}].$$

Із цих виразів випливає, що умов компенсації дії зовнішніх впливів на межі інтервалу параметру $\mathbf{b}$ не існує. Мінімальний приріст меж інтервалу $\mathbf{b}$ відбувається при виконанні умов:

$$\left.\begin{array}{l} \underline{a}_н \overline{\alpha}_a + \overline{x}_н \underline{\alpha}_x = 0 \\ \overline{a}_н \overline{\alpha}_a + \underline{x}_н \underline{\alpha}_x = 0 \end{array}\right\} \qquad (14)$$

Якщо умови (14) не виконуються, межі інтервальної величини $\mathbf{b}$ знаходяться із співвідношення:

$$\mathbf{b} = [\min\{\underline{a}_н - \overline{x}_н + (\underline{a}_н \overline{\alpha}_a \underline{L} - \overline{x}_н \underline{\alpha}_x \overline{L}); \underline{a}_н - \overline{x}_н + (\underline{a}_н \overline{\alpha}_a \overline{L} - \overline{x}_н \underline{\alpha}_x \underline{L})\};$$
$$\max\{\overline{a}_н - \underline{x}_н + (\overline{a}_н \overline{\alpha}_a \underline{L} - \underline{x}_н \underline{\alpha}_x \overline{L}); \overline{a}_н - \underline{x}_н + (\overline{a}_н \overline{\alpha}_a \overline{L} - \underline{x}_н \underline{\alpha}_x \underline{L})]$$

Операція ділення інтервальних величин виконується з допомогою виразів:

$$\mathbf{b} = \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{x}} = \frac{[\underline{\mathbf{a}}; \overline{\mathbf{a}}]}{[\underline{\mathbf{x}}; \overline{\mathbf{x}}]} = \left[\frac{\underline{\mathbf{a}}}{\overline{\mathbf{x}}}; \frac{\overline{\mathbf{a}}}{\underline{\mathbf{x}}}\right] = [\underline{\mathbf{b}}; \overline{\mathbf{b}}]$$

Інтервальні величини $\underline{\mathbf{b}}$ і $\overline{\mathbf{b}}$ при $\alpha_a > 0$, $\alpha_x < 0$ мають вигляд:

$$\underline{\mathbf{b}} = \frac{\underline{\mathbf{a}}}{\overline{\mathbf{x}}} = \frac{[\underline{a}_н (1 + \overline{\alpha}_a \underline{L}); \underline{a}_н (1 + \overline{\alpha}_a \overline{L})]}{[\overline{x}_н (1 + \underline{\alpha}_x \underline{L}); \overline{x}_н (1 + \underline{\alpha}_x \overline{L})]} = \left[\frac{\underline{a}_н}{\overline{x}_н}\left(1 + \frac{\overline{\alpha}_a \underline{L} - \underline{\alpha}_x \overline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \overline{L}}\right); \frac{\underline{a}_н}{\overline{x}_н}\left(1 + \frac{\overline{\alpha}_a \overline{L} - \underline{\alpha}_x \underline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \underline{L}}\right)\right];$$

$$\overline{\mathbf{b}} = \frac{\overline{\mathbf{a}}}{\underline{\mathbf{x}}} = \frac{[\overline{a}_н (1 + \overline{\alpha}_a \underline{L}); \overline{a}_н (1 + \overline{\alpha}_a \overline{L})]}{[\underline{x}_н (1 + \underline{\alpha}_x \underline{L}); \underline{x}_н (1 + \underline{\alpha}_x \overline{L})]} = \left[\frac{\overline{a}_н}{\underline{x}_н}\left(1 + \frac{\overline{\alpha}_a \underline{L} - \underline{\alpha}_x \overline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \overline{L}}\right); \frac{\overline{a}_н}{\underline{x}_н}\left(1 + \frac{\overline{\alpha}_a \overline{L} - \underline{\alpha}_x \underline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \underline{L}}\right)\right];$$

Співвідношення для $\underline{\mathbf{b}}$ і $\overline{\mathbf{b}}$ при діленні контрольованих величин можливо надати у вигляді дійсного числа і інтервалу:

$$\underline{\mathbf{b}} = \frac{\underline{a}_н}{\overline{x}_н} + \frac{\underline{a}_н}{\overline{x}_н}\left[\frac{\overline{\alpha}_a \underline{L} - \underline{\alpha}_x \overline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \overline{L}}; \frac{\overline{\alpha}_a \overline{L} - \underline{\alpha}_x \underline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \underline{L}}\right]$$

$$\overline{\mathbf{b}} = \frac{\overline{a}_н}{\underline{x}_н} + \frac{\overline{a}_н}{\underline{x}_н}\left[\frac{\overline{\alpha}_a \underline{L} - \underline{\alpha}_x \overline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \overline{L}}; \frac{\overline{\alpha}_a \overline{L} - \underline{\alpha}_x \underline{L}}{1 + \underline{\alpha}_x \underline{L}}\right]$$

Із цих співвідношень випливає, що компенсацію дії зовнішніх впливів і в цьому випадку виконати неможливо. Мінімізація приросту меж інтервалів досягається при виконанні умов:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\overline{\alpha}_a}{1+\underline{\alpha}_x \overline{L}}+\frac{\underline{\alpha}_x}{1+\underline{\alpha}_x \underline{L}}=0\\
\frac{\overline{\alpha}_a}{1+\underline{\alpha}_x \underline{L}}+\frac{\underline{\alpha}_x}{1+\underline{\alpha}_x \overline{L}}=0
\end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

У загальному випадку при діленні двох інтервальних величин межі інтервалу **b** у всьому діапазоні дії зовнішніх впливів визначаються співвідношенням:

$$\mathbf{b}=\left[\min\left\{\frac{\underline{a}_н}{\overline{x}_н}\left(1+\frac{\overline{\alpha}_a \underline{L}-\underline{\alpha}_x \overline{L}}{1+\underline{\alpha}_x \overline{L}}\right);\frac{\underline{a}_н}{\overline{x}_н}\left(1+\frac{\overline{\alpha}_a \overline{L}-\underline{\alpha}_x \underline{L}}{1+\underline{\alpha}_x \underline{L}}\right)\right\};\right.$$
$$\left.\max\left\{\frac{\overline{a}_н}{\underline{x}_н}\left(1+\frac{\overline{\alpha}_a \underline{L}-\underline{\alpha}_x \overline{L}}{1+\underline{\alpha}_x \overline{L}}\right);\frac{\overline{a}_н}{\underline{x}_н}\left(1+\frac{\overline{\alpha}_a \overline{L}-\underline{\alpha}_x \underline{L}}{1+\underline{\alpha}_x \underline{L}}\right)\right\}\right].$$

Таким чином, зовнішні впливи у загальному випадку розширяють межі допусків при виробництві і експлуатації електронних апаратів. Компенсація дії зовнішніх впливів на номінальне відхилення параметрів можлива тільки при складанні контрольованих величин. У цьому випадку відхилення параметрів залишаються рівними їх номінальним значенням в усьому діапазоні зовнішніх впливів. При множенні величин компенсаційна умова виконується тільки для одного значення амплітуди узагальненого зовнішнього впливу. Віднімання і ділення контрольованих величин не приводить до повного виключення дії зовнішніх впливів. Але їх дія може мінімізована.

***1**. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления:/Пер.с англ. М.: Мир, 1987. — 360с. **2.** Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новосибирск: Наука,1986. –222с.*