

В.У. Ігнаткін, В.С. Дудніков, Т.Р. Лучишин, С.В. Алексеєнко,

О.П. Юшкевич, Т.П. Карпова, Т.С. Хохлова, Ю.С. Хомош, В.А. Тіхонов

ОЦІНКА РАЦІОНАЛЬНИЙ НОМЕНКЛАТУРИ КОНТРОЛЮЄМИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ЇХ ВИГОТОВЛЕННІ, СПОСТЕРЕЖЕННІ ТА УПРАВЛІННІ

Анотація. Номенклатура контролюємих параметрів і норм точності вимірювань визначає достовірність контролю і його трудоємність. В середньому трудоємність контролю складає близько 10% загальної трудоємності виготовлення об'єктів, а у ряді галузей – значно вище (авіаційно-космічна техніка). Найпростішою задачею при визначенні раціональній номенклатури контролюємих параметрів об'єктів являється виключення надмірних параметрів, при цьому потрібно визначити ймовірність того, що відхилення якогось параметра X_2 у межах заданих допусків лежать так, як і відхилення параметра X_1 у межах його заданих допусків. При цьому визначені нерівності, якими визначається найменше значення цієї ймовірності. Загальним принципом розв'язку цієї задачі є визначення умовних ймовірностей (якщо розглядається два параметри) P_{11}, P_{12} , або P_{21}, P_{22} . При цьому, якщо отримані значення: P_{11}, P_{12} ймовірностей більше (або рівні) допустимому значенню $P_{доп}$, то доцільно здійснювати контроль тільки параметра X_1 , а X_2 виключити із номенклатури параметрів. Якщо: P_{21}, P_{22} - більше (або рівні) допустимому значенню $P_{доп}$, то виключається X_1 . Наведено приклад виключення надлишкового параметра контролю. Метод можна узагальнити для будь-якого числа параметрів, для чого треба скористатися кореляційними матрицями або простим перебором комбінацій параметрів. Розроблена програма для ЕОМ, якою можна скористуватися при наявності такої інформації: 1) кількість контрольованих параметрів (n); 2) значення допусків ($X_{ні}$, $X_{ві}$), на які підлягають контролю параметри; 3) числові характеристики розподілів значень параметрів в межах заданих допусків – середнє значення $\bar{X}_i$ і середнє квадратичне відхилення σ_{xi} ; 4) види законів розподілу значень параметрів; 5) данні кореляційних зв'язків між параметрами і значеннями попарних коефіцієнтів кореляції (r_{ij}); 6) значення ймовірностей помилок контролю P_{12}, P_{21} (при двох параметрах). По мірі накопичення статистичних даних розрахунки треба коректувати.

Ключові слова: параметри контролю, раціональна номенклатура, надлишковість параметрів, закони розподілу, кореляція.

Постановка задачі. Розробити модель визначення раціональної номенклатури контролюємих параметрів об'єктів при їх виготовленні, спостереженні, управлінні та програмно реалізувати процедуру розрахунків раціональної номенклатури параметрів об'єктів різної природи, що контролюються, і узагальнити методику на (n) параметрів.

Викладення основного матеріалу. Номенклатура вимірювальних параметрів і норм точності вимірювань визначає два найважливіших показники: достовірність контролю і його трудоемність. Нерідко розробники і технологи намагаються йти по шляху максимального контролю режимів технологічного процесу устаткування і інструменту, не беручи до уваги трудоемність вимірювальних процесів, а цей чинник достатньо істотний. В середньому трудоемність контрольно-вимірювальних операцій складає близько 10% загальної трудоемності виготовлення виробів, а у ряді галузей — значно вище.

При проведенні метрологічної експертизи необхідно ретельно проаналізувати номенклатуру вимірювальних параметрів, встановити можливі кореляційні зв'язки між ними, а також визначити параметри, які можна не вимірювати (або обмежитися їх індикацією, або взагалі не контролювати). Деякі загальні рекомендації за оцінкою раціональності номенклатури контрольованих параметрів будуть приведені нижче.

Для встановлення раціональної номенклатури параметрів, що підлягають контролю при виготовленні і експлуатації виробів, конструктору (розробнику виробів), технологу (розробнику технологічних процесів їх виготовлення), або експерту (оцінюючому раціональність вибраної номенклатури) в загальному випадку необхідно мати в своєму розпорядженні наступну інформацію:

- 1) значення допусків ($X_{нi}$, $X_{рi}$) на належні контролю параметри (X_i);
- 2) числові характеристики розподілів значень параметрів в межах заданих допусків, при серійному виготовленні виробів - середніми значеннями $\bar{X}_i$ і середніми квадратичними відхиленнями σ_{xi} ;
- 3) видами законів розподілу значень параметрів;
- 4) дані про наявність кореляційних зв'язків між параметрами і значеннями попарних коефіцієнтів кореляції;
- 5) допустимі значення ймовірності помилок контролю, ($P_{ид}$).

Зазвичай, на стадії проектування виробів конструктор-розробник не має в своєму розпорядженні такої вичерпної інформації, зокрема він не має в своєму розпорядженні даних про види і характеристики законів розподілу значень параметрів, які залежать від технології виготовлення виробів, і, лише, маючи па-

раметричну модель виробу, може приблизно судити про ступінь корельованості тих або інших його параметрів. Тому на цій стадії можливо здійснити лише наближені розрахунки (зробивши ряд спрощуючих допущень), які у міру накопичення статистичних даних можуть бути уточнені в процесі експертизи конструкторсько-технологічної документації.

Найпростіша реальна задача, рішення якої необхідне для раціонального вибору номенклатури контрольованих параметрів, виключення надмірних параметрів при розробці і експертизі нормативних документів, полягає в наступному. потрібно визначити ймовірність того, що якщо виміряне в процесі контролю виробу відхилення параметра $X_1(X_2)$ лежить у межах заданих допусків, то і значення параметра $X_2(X_1)$ також лежить в межах заданих для нього допусків.

Події, відповідні найменшому значенню цієї ймовірності визначаються нерівностями:

$$X_{H2}(X_{H1} \leq X_2(X_1) \leq X_{B2}(X_{B1})/X_1(X_2)=X_{H1}(X_{H2}), \quad (1)$$

$$X_{H2}(X_{H1}) \leq X_2(X_1) \leq X_{B2}(X_{B1})/X_1(X_2)=X_{B1}(X_{B2}), \quad (2)$$

що означає: відхилення параметра X_2 (або X_1) знаходиться в межах заданих допусків X_{H2} (або X_{H1}), X_{B2} (або X_{B1}). коли (за умови, що) виміряне відхилення іншого параметра X_1 (або X_2) лежить на нижній (1) або верхній (2) межах допусків.

Загальним принципом розв'язку вказаної задачі є визначення умовної ймовірності

$$P_{11}(X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2}/X_1); P_{12}(X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2}/X_1=X_{B1}); \quad (3)$$

$$P_{21}(X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1}/X_2); P_{22}(X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1}/X_2=X_{B2}). \quad (4)$$

Якщо отримані значення ймовірності P_{11} і P_{12} більше (або рівні) допустимому значенню P_d , то доцільно здійснювати контроль лише параметра X_1 не контролюючи параметр X_2 , тобто параметр X_2 із раціоналізованої номенклатури, виключається. Якщо P_{21} і P_{22} більше або рівне P_d , то виключається X_1 . Значення P_d може бути прийнято рівним $P_d=1-P_2$, де P_2 - ймовірність помилки контролю другого роду, яка залежить від прийнятих методу і засобів контролю виключаємого параметра.

Ймовірність помилки контролю першого роду виключеного параметра при цьому можна не враховувати, оскільки при виході значень залишеного контрольованого параметра за межі допусків, виріб вже буде забраковано.

Припустимо, що сумісний розподіл значень X_1 , X_2 підкоряється нормальному закону розподілу з густиною:

$$\varphi(X_1, X_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_{X_1}\sigma_{X_2}\sqrt{1-r_{12}^2}} \cdot EXP \left\{ -\frac{1}{2(1-r_{12}^2)} \cdot \left[\frac{(X_1 - \bar{X}_1)^2}{\sigma_{X_1}^2} - \frac{2r_{12}(X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_1} \cdot \sigma_{X_2}} + \frac{(X_2 - \bar{X}_2)^2}{\sigma_{X_2}^2} \right] \right\}$$

Тоді умовні розподілення значень X_1, X_2 :

$$\varphi(X_2 / X_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{X_2} \cdot \sqrt{1-r_{12}^2}} \cdot EXP \left\{ -\frac{1}{2(1-r_{12}^2)} \cdot \left[\frac{(X_2 - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_2}} - \frac{r_{12}(X_1 - \bar{X}_1)}{\sigma_{X_1}} \right]^2 \right\}, \quad (5)$$

$$\varphi(X_1 / X_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{X_1} \cdot \sqrt{1-r_{12}^2}} \cdot EXP \left\{ -\frac{1}{2(1-r_{12}^2)} \cdot \left[\frac{(X_1 - \bar{X}_1)}{\sigma_{X_1}} - \frac{r_{12}(X_2 - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_2}} \right]^2 \right\}, \quad (6)$$

Отже в даному випадку для аналізу надмірності номенклатури контролюваних параметрів необхідно оцінити наступні умови ймовірності: при $r_{12} > 0$ (позитивна кореляція):

$$P_{11}^+(X_{H_2} \leq X_2 / X_1 = X_{H_1}) = 1 - \int_{-\infty}^{X_{H_2}} \varphi_1(X_2 / X_1) dX_2 = 1 - \Phi \left(\frac{X_{H_2} - \bar{X}_2 - r_{12} \cdot \sigma_{X_2} / \sigma_{X_1} \cdot (X_{H_1} - \bar{X}_1)}{\sigma_{X_2} \sqrt{1-r_{12}^2}} \right) \quad (7)$$

Другу границю ($X_2 = X_{B_2}$) опускаємо, оскільки ймовірність нерівності $X_2 > X_{B_2}$ при $X_1 = X_{H_1}$ і позитивному коефіцієнті кореляції дуже мала;

$$P_{12}^+(X_2 \leq X_{B_2} / X_1 = X_{B_1}) = 1 - \int_{X_{B_2}}^{\infty} \varphi_1(X_2 / X_{H_1}) dX_2 = 1 - \Phi \left(\frac{\bar{X}_2 - X_{B_2} + r_{12} \cdot \sigma_{X_2} / \sigma_{X_1} \cdot (X_{H_1} - \bar{X}_1)}{\sigma_{X_2} \sqrt{1-r_{12}^2}} \right) \quad (8)$$

$$P_{21}^+(X_{H_1} \leq X_1 / X_2 = X_{H_2}) = 1 - \int_{-\infty}^{X_{H_1}} \varphi_2(X_1 / X_{H_2}) dX_1 = 1 - \Phi \left(\frac{X_{H_1} - \bar{X}_1 - r_{12} \cdot \sigma_{X_1} / \sigma_{X_2} \cdot (X_{H_2} - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_1} \sqrt{1-r_{12}^2}} \right) \quad (9)$$

$$P_{22}^+(X_1 \leq X_{B_1} / X_2 = X_{B_2}) = 1 - \int_{X_{B_1}}^{\infty} \varphi_2(X_1 / X_{B_2}) dX_1 = 1 - \Phi \left(\frac{\bar{X}_1 - X_{B_1} + r_{12} \cdot \sigma_{X_1} / \sigma_{X_2} \cdot (X_{B_2} - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_1} \sqrt{1-r_{12}^2}} \right) \quad (10)$$

При $r_{12} < 0$ (негативна кореляція):

$$P_{11}^-(X_{H_2} \leq X_2 / X_1 = X_{B_1}) = 1 - \Phi \left(\frac{X_{H_2} - \bar{X}_2 - r_{12} \cdot \sigma_{X_2} / \sigma_{X_1} \cdot (X_{B_1} - \bar{X}_1)}{\sigma_{X_2} \sqrt{1-r_{12}^2}} \right), \quad (11)$$

$$P_{12}^-(X_2 \leq X_{B_2} / X_1 = X_{H_1}) = 1 - \Phi \left(\frac{\bar{X}_2 - X_{B_2} + r_{12} \cdot \sigma_{X_2} / \sigma_{X_1} \cdot (X_{H_1} - \bar{X}_1)}{\sigma_{X_2} \sqrt{1-r_{12}^2}} \right), \quad (12)$$

$$P_{21}^{-}(X_{H_1} \leq X_1 / X_2 = X_{B_2}) = 1 - \Phi \left(\frac{X_{H_1} - \bar{X}_1 - r_{12} \cdot \sigma_{X_1} / \sigma_{X_2} \cdot (X_{B_2} - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_1} \sqrt{1 - r_{12}^2}} \right), \quad (13)$$

$$P_{22}^{-}(X_1 \leq X_{B_1} / X_2 = X_{H_1}) = 1 - \Phi \left(\frac{\bar{X}_1 - X_{B_1} + r_{12} \cdot \sigma_{X_1} / \sigma_{X_2} \cdot (X_{H_1} - \bar{X}_2)}{\sigma_{X_1} \sqrt{1 - r_{12}^2}} \right), \quad (14)$$

де $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ - нормалізована функція Лапласа

Кожна з цих ймовірностей порівнюється з P_d . Якщо P_{11}^{+} (P_{11}^{-}) та P_{12}^{+} (P_{12}^{-}) більше P_d , то параметр X_1 є збитковим (так як з ймовірністю, більший P_d , виріб буде правильно признано придатним по цьому параметру X_1) і з раціональної номенклатури виключається; якщо та P_{22}^{+} (P_{22}^{-}) більше P_d то збитковим являється параметр X_2 .

В ряді випадків може виявитися, що всі ймовірності P_{11} , P_{12} , P_{21} , P_{22} більші P_d . Тоді питання про виключення того або іншого параметра з числа контрольованих розв'язується, виходячи з техніко-економічних міркувань. Наприклад, шляхом зіставлення складності або вартості процесів контролю. одержані наступні дані у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

Результати процесу контролю

ΔX_1	0.91	-0.14	0.89	0.72	-0.64	0.94	-0.92	1.04	-0.31	-0.21
ΔX_2	-0.42	0.11	0.34	0.36	-0.28	0.52	-0.39	0.26	0.13	-0.29
ΔX_1	0.48	0.52	-0.74	-0.82	0.31	0.71	-0.18	-0.48	0.91	0.74
ΔX_2	0.31	0.31	-0.26	-0.38	-0.14	0.44	0.26	0.18	0.41	0.31
ΔX_1	0.32	0.64	-0.48	-0.44	0.79	0.52	0.55	0.68	-0.67	-0.32
ΔX_1	0.16	0.20	-0.56	-0.19	0.38	0.25	0.25	0.20	0.11	-0.18

Обробка представлених даних дає наступні результати:

$$\Delta X_1 = 0,17 \text{ мм} \quad \tilde{\sigma}_{\Delta X_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (\Delta X_{1i} - \Delta \bar{X}_1)^2}{29}} = 0,63 \text{ мм}$$

$$\Delta X_1 = 0,17 \text{ мм} \quad \tilde{\sigma}_{\Delta X_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (\Delta X_{2i} - \Delta \bar{X}_2)^2}{29}} = 0,30 \text{ мм}$$

$$\bar{r}_{12}^2 = \frac{1}{30 \sigma_{\Delta X_1} \sigma_{\Delta X_2}} = \sum_{i=1}^{30} (\Delta X_{1i} - \Delta \bar{X}_1)(\Delta X_{2i} - \Delta \bar{X}_2) = 0,66.$$

Розрахунок по формулах (8)....(10) при заданих допустимих відхиленнях $\Delta X_{1д} = \pm 1 \text{ мм}$, $\Delta X_{2д} = \pm 0,5 \text{ мм}$:

$$\begin{aligned} P_{11}^+ &= 0,9014 & P_{12}^+ &= 0,7690 \\ P_{21}^+ &= 0,66090 & P_{22}^+ &= 0,7014 \end{aligned}$$

В даному випадку при допускаємій ймовірності помилки контролю другого роду $P_2 \leq 25\%$ параметр X_2 (циліндричність трубки) є надлишковим та з раціоналізованої номенклатури контрольованих параметрів його слід виключити.

Розглянутий метод можна узагальнити на будь-які форми завдання допусків (наприклад, для односторонніх допусків), для великого числа параметрів, для цього можливо скористатися або кореляційними матрицями, або простим перебором комбінацій параметрів.

Опис моделі. Рішення реального завдання раціонального вибору номенклатури контрольованих параметрів, виключення надлишкових параметрів при розробці та експертизі нормативних документів полягає в наступному. Потрібно визначити ймовірність того, що, якщо виміряне у процесі контролю виробу відхилення параметра X_1 (X_2) лежить в межах заданих допусків, то і значення параметра X_2 (X_1) також лежить у межах заданих для нього допусків. Події, що відповідають найменшому значенню цієї ймовірності, визначаються нерівностями:

$$X_{H2}(X_{H1}) \leq X_2(X_1) \leq X_{B2}(X_{B1}) / X_1(X_2) = X_{H1}(X_{H2}), \quad (15)$$

$$X_{H2}(X_{H1}) \leq X_2(X_1) \leq X_{B2}(X_{B1}) / X_1(X_2) = X_{B1}(X_{H2}), \quad (16)$$

що означає наступне. Відхилення параметра X_2 (X_1) знаходиться в межах заданих допусків $X_{H2}(X_{H1})$, $X_{B2}(X_{B1})$, коли (за умови, що) навмисне відхилення іншого параметра X_1 (або X_2) лежить на нижній (15) або верхній (16) межах допусків.

Загальним принципом вирішення задачі є певна умова ймовірностей:

$$P_{11} (X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{H1}), \quad (17)$$

$$P_{12} (X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1}), \quad (18)$$

$$P_{21} (X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{H2}), \quad (19)$$

$$P_{22}(X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{B2}), \quad (20)$$

При цьому, якщо отримані значення ймовірностей P_{11} , P_{12} більше (або рівні) допускаемому значенню P_d , то доцільно здійснити контроль лише параметра X_1 , не контролюючи параметр X_2 , так як параметр X_2 з раціональної номенклатури виключається. Якщо P_{21} і P_{22} більше або дорівнюють P_d , то виключається X_1 . Причому значення P_d може бути прийнято $P_d = 1 - P_2$, де P_2 - ймовірність помилки контролю другого роду, що залежить від прийнятих методів і засобів контролю виключаємого параметра. При цьому, ймовірність помилки контролю першого роду виключаємого параметра можна не враховувати, тому що при виході значень параметра, що залишився, за границі допусків виріб уже буде забраковано. Для аналізу надмірності номенклатури контрольованих параметрів при нормальному законі розподілу значень X_1 і X_2 необхідно оцінити наступні умовні ймовірності: при $r_{12} \geq 0$ (позитивна кореляція

$$P_{11}^+(X_{H2} \leq X_2 / X_1 = X_{H1}), \quad (21)$$

При цьому другу межу (тут $X_2 \leq X_{B1}$) опускаємо, оскільки ймовірність нерівності $X_2 > X_{B2}$ при $X_1 = X_{H1}$ і позитивному коефіцієнті кореляції дуже мала.

$$P_{12}^+(X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1}), \quad (22)$$

$$P_{21}^+(X_{H1} \leq X_1 / X_2 = X_{H2}), \quad (23)$$

$$P_{22}^+(X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{B2}), \quad (24)$$

При $r_{12} < 0$ (негативна кореляція):

$$P_{11}^-(X_{H2} \leq X_2 / X_1 = X_{B1}), \quad (25)$$

$$P_{12}^-(X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{H1}), \quad (26)$$

$$P_{21}^-(X_{H1} \leq X_1 / X_2 = X_{B2}), \quad (27)$$

$$P_{22}^-(X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{H2}), \quad (28)$$

кожна з цих ймовірностей порівнюється з P_d . Якщо і $P_{11}^-(P_{11}^-)$ і $P_{12}^-(P_{12}^-)$ більше P_d , то параметр X_2 є надлишковим і із раціональної номенклатури виключається. Якщо $P_{21}^-(P_{21}^-)$, $P_{22}^-(P_{22}^-)$ більше P_d , то надлишковим є параметр X_1 . У ряді випадків, може виявитися, що всі ймовірності: P_{11} , P_{12} , P_{21} , P_{22} більше P_d . Тоді питання про виключення того чи іншого параметра з числа контрольованих вирішується, виходячи з техніко-економічних міркувань, наприклад, шляхом зіставлення складності або вартості процесів контролю.

В даній роботі приведені загальні принципи встановлення раціональної номенклатури контрольованих параметрів.

Розроблена модель та програмно реалізована процедура визначення раціональної номенклатури контрольованих параметрів об'єктів. Проведені дослі-

дження показали, що при організації контрольно-вимірювальних операцій контролю якості, оптимізація кількості контрольованих параметрів являється актуальною задачею. Модель можна узагальнити на будь-які форми завдання допусків (наприклад для односторонніх допусків, для цього застосовують кореляційні матриці, або перебір комбінацій параметрів.

Розроблена програма для ЕОМ може бути корисна конструктору, технологу або експерту, який оцінює раціональність обраної номенклатури параметрів контролю.

Висновки.

1. Приведено модель і методика виключення надлишкового параметру контролю деякого об'єкту, які можуть бути узагальнені для будь-якого числа параметрів контролю об'єкту, для чого треба скористатися кореляційними матрицями і визначенням умовних ймовірностей.

2. Розроблена програма для ЕОМ, котрою можна скористатися при наявності визначеної інформації, яка накопичується з часом і дозволяє коректувати розрахунки.

3. Програма виключення надлишкового параметру контролю деякого об'єкту була перевірена на прикладі контролю осцилографа С1-65 (у статті не приводиться).

ЛІТЕРАТУРА

1. Бідюк П.І., Гожий О.П. Імовірісно-статистичні методи моделювання і прогнозування: Монографія. – Миколаїв: Чорноморський державний університет імені Петра Могили, 2014. – 440 с.
2. Піндус Н.М. Вимірювальний експеримент та обробка результатів. – Івано-Франковськ: Факел, 2010. – 248 с.
3. EURACHEM/CITAC Guide, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Second Edition. Laboratory of the Government Chemist, London (2000). ISBN 0-948926-15-5.
4. EURACHEM/CITAC Guide, Measurement uncertainty arising from sampling: A guide to methods and approaches. EURACHEM, (2007). Available from <http://www.eurachem.org>.
5. ISO 21748:2010. Guide to the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation. ISO, Geneva (2010).
6. Analytical Methods Committee. Measurement uncertainty evaluation for a non-negative measurand: an alternative to limit of detection. Accred. Qual. Assur. Vol 13, pp 29-32 (2008).

7. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник.- Львів: Магнолія, 2007. – 500 с.
8. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник/ А.І. Грабченко, М.В. Вerezub/за ред. А.І.Грабченко. – Житомир: ЖДГУ, 2011. – 507 с.

REFERENCES

1. Bidyuk P.I., Gozhiy O.P. Imovirnistno-statistical methods of modeling and forecasting: Monograph. - Mykolaiv: Chornomorsky State University named after Peter Mogila, 2014. - 440 p.
2. Pindus N.M. Vimiruválny experiment and review of results. - Ivano-Frankivsk: Fakel, 2010. - 248 p.
3. EURACHEM/CITAC Guide, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Second Edition. Laboratory of the Government Chemist, London (2000). ISBN 0-948926-15-5.
4. EURACHEM/CITAC Guide, Measurement uncertainty arising from sampling: A guide to methods and approaches. EURACHEM, (2007). Available from <http://www.eurachem.org>.
5. ISO 21748:2010. Guide to the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation. ISO, Geneva (2010).
6. Analytical Methods Committee. Measurement uncertainty evaluation for a non-negative measurand: an alternative to limit of detection. Accred. Qual. Assur. Vol 13, pp 29-32 (2008).
7. Bondarenko S.G. Fundamentals of machine-building technology: introductory guide. - Lviv: Magnolia, 2007. – 500 s.
8. Work processes of high technologies in mechanical engineering: textbook/ A.I. Hrabchenko, M.V. Verezub/ed. A.I. Grabchenko. - Zhytomyr: ZhDSU, 2011. - 507 p.

Received 04.04.2023.

Accepted 10.04.2023.

Alternative to mean and least squares methods used in processing the results of scientific and technical experiments

The nomenclature of controlled parameters and norms of measurement accuracy determines the reliability of control and its laboriousness. On average, the labor-intensiveness of control is about 10% of the total labor-intensiveness of manufacturing objects, and in a number of industries it is much higher (aerospace engineering). The simplest task in determining a rational nomenclature of controlled parameters of objects is the exclusion of excessive parameters, while it is necessary to determine the probability that the deviations of some X_2 parameter within the specified tolerances are the same as

the deviations of the X_1 parameter within its specified tolerances. At the same time, inequalities are defined that determine the smallest value of this probability. The general principle of solving this problem is the determination of conditional probabilities (if two parameters are considered) $P_{P_{11}, P_{12}}$, or $P_{P_{21}, P_{22}}$. At the same time, if the obtained values: P_{11}, P_{12} , are more likely than (or equal to) the permissible value of R_{dop} , then it is advisable to control only parameter X_1 , and exclude X_2 from the nomenclature of parameters. If: P_{21}, P_{22} , are greater than (or equal to) the permissible value of R_{dop} , then X_1 is turned off. An example of the exclusion of a redundant control parameter is given. The method can be generalized for any number of parameters, for which it is necessary to use correlation matrices or a simple enumeration of parameter combinations. A computer program has been developed that can be used if the following information is available: 1) the number of controlled parameters (n); 2) values of tolerances (X_{ni}, X_{vi}), which parameters are subject to control; 3) numerical characteristics of distributions of parameter values within the specified tolerances - the average value of $\bar{X}_i$ and the average squared deviation σ_{xi} ; 4) types of distribution laws of parameter values; 5) data on correlations between parameters and values of pairwise correlation coefficients (r_{ij}); 6) the value of the probabilities of control errors P_{12}, P_{21} (with two parameters). Calculations should be adjusted as statistical data accumulate.

Key words: control parameters, rational nomenclature, parameter redundancy, distribution laws, correlation.

Ігнаткін Валерій Устинович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Дудніков Володимир Степанович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механотроніки Дніпровського національного університету ім.Олеса Гончара.

Лучишин Тарас Романович, кандидат медичних наук, спеціаліст вищої категорії, заступник директора «Української готельної групи».

Алексєєнко Сергій Вікторович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри механотроніки Дніпровського національного університету ім.Олеса Гончара.

Юшкевич Олег Павлович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механотроніки Дніпровського національного університету імені Олеса Гончара.

Карпова Тетяна Петрівна, старший викладач кафедри матеріалознавства і термічної обробки металів УДУНТ.

Хохлова Тетяна Станіславівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства і термічної обробки металів УДУНТ.

Хомош Юрій Степанович, кандидат економічних наук, доцент, директор Дрогобицького фахового коледжу нафти та газу .

Тіхонов Василь Андрійович, директор Дніпровського фахового коледжу радіоелектроніки.

Ignatkin Valery Ustinovich - doctor of technical sciences, professor, professor of the department of automation and computer-integrated technologies of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Dudnikov Volodymyr Stepanovych - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mechatronics of Oles Honchar Dnipro National University.

Luchyshyn Taras Romanovych - candidate of medical sciences, specialist of the highest category, deputy director of the "Ukrainian Hotel Group".

Alekseenko Serhii Viktorovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechatronics, Dnipro National University named after Oles Honchar.

Yushkevich Oleh Pavlovich - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mechatronics of Dnipro National University named after Oles Honchar.

Karpova Tetyana Petrivna - senior lecturer of the Department of Materials Science and Heat Treatment of Metals, USUNT.

Khokhlova Tetyana Stanislavivna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Materials Science and Heat Treatment of Metals at the Ukrainian National University of Science and Technology.

Khomosh Yuriy Stepanovych - candidate of economic sciences, associate professor, director of the Drohobyt'sk Oil and Gas Professional College.

Tikhonov Vasyl Andriyovych - director of the Dnipro Vocational College of Radio Electronics.