

**Горошко А.В.,
Ройzman В.П.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: iftomm@ukr.net

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВУЗЛА ТЕРТЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКОВОГО ВІДПОВІДАЧА

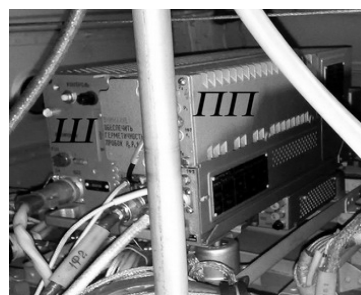
УДК: 539.4.019:621.319.4

Розроблено метод побудови гібридних статистично-детермінованих моделей багатокаскадних об'єктів. За допомогою методу побудована гібридна статистично-детермінована модель формування потужності вихідного ВЧ-сигналу літакового відповідача під дією первинних факторів механічної природи. Поставлена і розв'язана обернена задача параметричного синтезу допусків на первинні фактори моделі конструкції. Відсутність її розв'язку означає, що в існуючій конструкції неможливо забезпечити його працездатність. Причиною є витирання поверхні із шару срібла в процесі експлуатації вузла тертя механічного резонатора. Необхідні для виконання ТУ допуски на чистоту поверхні і розміри резонатора не можуть бути витримані на підприємстві. Запропоновано змінити конструкцію для усунення впливу негативних факторів і побудована гібридна статистично-детермінована модель для розв'язання оберненої задачі параметричного синтезу допусків на первинні фактори моделі нової конструкції і визначено область працездатності ЛВ у вигляді допусків значень параметрів, прийнятних для підприємства-виготовлювача, дотримання яких забезпечує виконання ТУ.

Ключові слова: вузол тертя, резонатор, працездатність, літаковий відповідач, АПЕ, математична модель, обернена задача, синтез допусків.

Вступ

Літаковий відповідач (ЛВ) СО-69 призначений для роботи з радіолокаційними системами, які входять до системи керування повітряним рухом і забезпечує автоматичну видачу цим радіолокаційним системам інформації про координати літака, бортовий номер, барометричну висоту польоту, а також сигнали індивідуального розпізнавання та аварії. Відповідач експлуатується на цивільних і військових літаках, таких як наприклад АН-26, МиГ-23, МиГ-25, МиГ-27, МиГ-29, МиГ-31, Ту-142, Як-40, Л-410, вертоліт МІ-26. Зовнішній вигляд прийомопередавача основного блоку СО-69 представлений на рис. 1.



**Рис. 1 – Літаковий відповідач СО-69,
встановлений на борту літака АН-26**

Під забезпеченням працездатності ЛВ мається на увазі гарантія стабільності потужності вихідного ВЧ-сигналу ЛВ, тобто виконання вимог ТУ на цю вихідну характеристику протягом всього терміну експлуатації.

В практиці виробництва, випробувань і експлуатації часто відбувались випадки, коли ЛВ приймалися на вихідних випробуваннях, під час яких встановлювалась відповідність всіх вихідних характеристик вимогам ТУ, а далі в експлуатації по завершенню деякого часу відбувались відмови цих виробів. Аналіз таких відмов показав, що найбільший відсоток невиконання (23,7 %) відповідачем свого функціонального призначення відбувався по причині недопустимого за ТУ зниження потужності вихідного ВЧ сигналу [1]. Попередні експерименти, проведенні заводом-виготовлювачем, показали, що подальша обробка електричних параметрів відповідача не може привести до стабілізації величини потужності його вихідного ВЧ сигналу, оскільки ці параметри на основі існуючої елементної бази доведені до деяких оптимальних значень. Однак вказана потужність формується під дією деяких первинних факторів механічної природи. Оскільки сигнал необхідної потужності формується у металевому резонаторі, який являє собою вузол тертя, поверхні якого під час експлуатації піддаються витиранню, були здійснені спроби забезпечити працездатність відповідача шляхом звуження відхилень значень механічних параметрів і характеристик деталей конструкції резонатора. Але звуження цих допусків навіть до мінімально можливих на підприємстві не принесло бажаних успіхів.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми

Отже, була поставлена задача виявити первинні фактори механічної природи у вузлі тертя, які впливають на величину потужності вихідного ВЧ сигналу ЛВ і знайти множину значень цих факторів, що забезпечують виконання умов ТУ на цю вихідну характеристику протягом всього терміну експлуатації. Оскільки детермінованої математичної моделі конструкції не було, необхідно було її створити, використовуючи активний планований експеримент (АПЕ). Однак виявилось, що виробничі умови не дозволяли провести необхідну для цього велику кількість експериментів. Знизити трудомісткість і тривалість операцій, які необхідні для реалізації АПЕ при створенні математичних моделей багатокаскадних систем можна шляхом побудови їх гібридних статистично-детермінованих моделей, а також шляхом обґрунтованого вибору мінімальної кількості дублювання кожного досліду з деякою заданою надійністю [1, 2].

Отже, для досягнення мети необхідно було розв'язати наступні задачі [3].

1. Розробити метод створення гібридних математичних моделей, що базується на відомих детермінованих залежностях і АПЕ, з використанням суттєво меншої кількості необхідних для цього експериментів.

2. Виявити первинні конструктивні і технологічні фактори механічної природи у резонаторі, що впливають на величину досліджуваної потужності літакового відповідача, і побудувати гібридну математичну модель залежності вказаної вихідної характеристики від цих факторів.

3. Шляхом аналізу отриманої моделі виявити серед первинних факторів пріоритетні і вяснити, які з них можуть в експлуатації протягом часу змінювати свої значення, тобто дестабілізувати вихідну потужність літакового відповідача (ЛВ) в процесі експлуатації.

4. На основі аналізу проведених досліджень розробити заходи, реалізація яких дозволить стабілізувати потужність вихідного ВЧ-сигналу ЛВ. Зокрема, розв'язавши обернену задачу синтезу допусків, знайти множину значень первинних факторів, приналежність до якої забезпечить виконання ТУ, і рекомендувати заводу-виготовлювачу дотримуватись знайдених допусків.

Результати досліджень и їх обговорення

Розробка методу створення гібридних математичних моделей

Розглянемо об'єкт, що містить незалежні каскади, такі, що варіювання первинних факторів будь-якого із них змінює вихідні характеристики тільки цього каскаду. Ставиться задача шляхом застосування АПЕ змоделювати вихідну характеристику всього виробу у разі, коли взаємний вплив каскадів на неї відомий заздалегідь. При цьому будемо розглядати багатокаскадні вироби, конструкція і традиційна технологія виготовлення яких не дозволяє і (або) не передбачає проміжний контроль окремих каскадів. В той же час можливе вимірювання значень модельованої функції у при довільних наборах значень первинних факторів всіх каскадів.

Шукану модель можна подати у вигляді відомої функції:

$$y = f(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k), \quad \varphi \in \mathbf{R}^k, \quad (1)$$

що має властивість $\delta y / \delta \varphi_i \neq 0 \quad \forall i = \overline{1, k}$, в деякому околі точки $(\varphi_{10}, \varphi_{20}, \dots, \varphi_{(i-1)0}, \varphi_i, \varphi_{(i+1)0}, \dots, \varphi_{k0})$, де:

$$\varphi_i = \varphi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{il_i}), \quad \forall i = \overline{1, k}, \quad (2)$$

невідомі функції, які моделюють i -й каскад, а x_{ij} – кодовані первинні фактори.

Позначимо набір факторів $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{il_i})$ вектором $X_i \quad \forall i = \overline{1, k}$, після чого співвідношення (1) набуде вигляду:

$$y = f(\varphi_1(X_1), \varphi_2(X_2), \dots, \varphi_k(X_k)). \quad (3)$$

Таким чином, задача полягає у побудові методом АПЕ поліноміального подання функції (3), вираженого через первинні фактори. Для цього отримаємо функцію Y , що залежить від первинних факторів X_1, X_2, \dots, X_k і фіксованих невідомих чисел $\varphi_{10}, \varphi_{20}, \dots, \varphi_{k0}$, тобто $y = \psi(X_1, X_2, \dots, X_k, \varphi_{10}, \varphi_{20}, \dots, \varphi_{k0})$.

Оскільки при $X_i = X_{i_0} \quad \forall i = \overline{1, k}$ має місце $y = y_0$, то вірною є нерівність $y_0 = \Psi(X_{1_0}, X_{2_0}, \dots, X_{k_0}, \varphi_{1_0}, \varphi_{2_0}, \dots, \varphi_{k_0})$, яка дозволяє відмовитись від невідомих φ_{i_0} , виразивши їх через вимірне значення y_0 , і отримати таким чином шуканий вигляд моделюючої функції.

Запропонований метод побудови гібридних статистично-детермінованих моделей багатокаскадних об'єктів, що дозволяє формувати статистичні моделі з врахуванням відомих теоретичних залежностей, дає значний вииграш у кількості експериментів - $2^{l_1} + 2^{l_2} + \dots + 2^{l_k}$ проти $2^{l_1 + l_2 + \dots + l_k}$ при реалізації стандартного АПЕ (рис. 2).

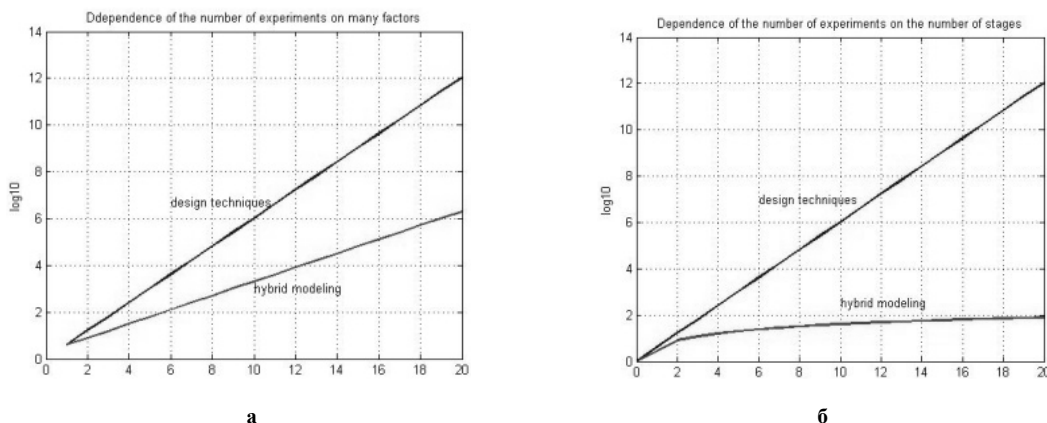


Рис. 2 – Залежності кількості експериментів від кількості факторів при фіксованій кількості каскадів (а) і від кількості каскадів при фіксованій кількості факторів (б)

Побудова математичної моделі складання ЛВ

Потужність вихідного ВЧ-сигналу формується в приємопередатчику основного блоку СО-69, а саме у призначеному для генерування ВЧ-імпульсів в дециметровому діапазоні генераторі НВЧ 2081401 передатчика 2016140 (рис. 3).

Генератор НВЧ містить два незалежних каскади. Перший каскад – автогенератор (задаючий генератор – ЗГ), другий – підсилювач потужності (ПП) (рис. 4). При цьому відомо, що потужність вихідного ВЧ-сигналу P представляється у вигляді добутку $P = \varphi_1 \varphi_2$ двох функцій, які моделюють кожен із каскадів ЗГ (φ_1) і ПП (φ_2), тобто:

$$P = \varphi_1 \varphi_2. \quad (4)$$

Конструкція і технологія складання відповідача не передбачає проміжний контроль цих вихідних характеристик окремих каскадів. Можливе лише вимірювання значень вихідної характеристики самого генератора за довільних наборів значень первинних факторів як ЗГ, так і ПП. З врахуванням такої багатокаскадності генератора НВЧ для моделювання потужності P можна використати описану в [4] методику побудови гібридних статистично-детермінованих моделей.

Розглянемо застосування вказаної методики для моделювання роботи генератора НВЧ, для якого передавальна функція має вигляд (4), де $\varphi_1(X)$, $\varphi_2(X)$ – невідомі функції, які моделюють ЗГ і ПП відповідно. Тоді вимірне значення модельованої потужності за деяких фіксованих значень первинних факторів ЗГ (X_{1_0}) і ПП (X_{2_0}) дорівнює:

$$P_0 = \varphi_{1_0} \varphi_{2_0}, \quad (5)$$

де $\varphi_{i_0} = \varphi_i(X_{i_0})$, $i = 1, 2$ – фіксовані, але не відомі значення функції φ_i .

Утворимо допоміжні функції:

$$P_1 = \varphi_1(X_1) \varphi_{2_0}, \quad P_2 = \varphi_{1_0} \varphi_2(X_2), \quad (6)$$

з яких:

$$\varphi_1(X_1) = P_1(X_1) / \varphi_{2_0}, \quad \varphi_2(X_2) = P_2(X_2) / \varphi_{1_0}. \quad (7)$$

Підставивши (7) в (4), отримаємо $P = P_1(X_1) \cdot \varphi P_2(X_2) / (\varphi_{10} \cdot \varphi_{20})$, звідки з врахуванням (5) знаходимо:

$$P = P_1(X_1) \cdot \varphi P_2(X_2) / P_0. \quad (8)$$

Для отримання статистично-детермінованої моделі виду (8) необхідно побудувати поліноміальні моделі для функцій $P_i(X_i)$, $i = 1, 2$ шляхом реалізації $2^{l_1} + 2^{l_2}$ дослідів за схемою ПФЕ (l_1, l_2 – кількість первинних факторів для ЗГ і ПП відповідно). З цієї метою в першу чергу необхідно визначити ті первинні фактори ЗГ і ПП, які мають бути врахованими в цих моделях.

На основі експертного опитування спеціалістів, які мають досвід попередніх досліджень конструкції і технології зборки відповідачів, було встановлено, що значно впливати на вихідну характеристику P – потужність вихідного ВЧ-сигналу можуть наступні параметри деталей і вузлів кожного з каскадів генератора передатчика.

Параметри деталей і вузлів ЗГ: зусилля притиснення анодного плунжера до анодної цанги $q_1 \cdot 10^2$, Н; діаметр корпусу катодно-сіткового контуру $q_2 \cdot 10^{-3}$, м; діаметр стакана катодно-сіткового контуру $q_3 \cdot 10^{-3}$, м; середнє арифметичне відхилення профілю поверхні стакана катодно-сіткового контуру $q_4 \cdot 10^{-6}$, м; зусилля притиснення великого плунжера $q_5 \cdot 10^2$, Н; середнє арифметичне відхилення профілю поверхні корпусу анодного контуру $q_6 \cdot 10^{-6}$, м.

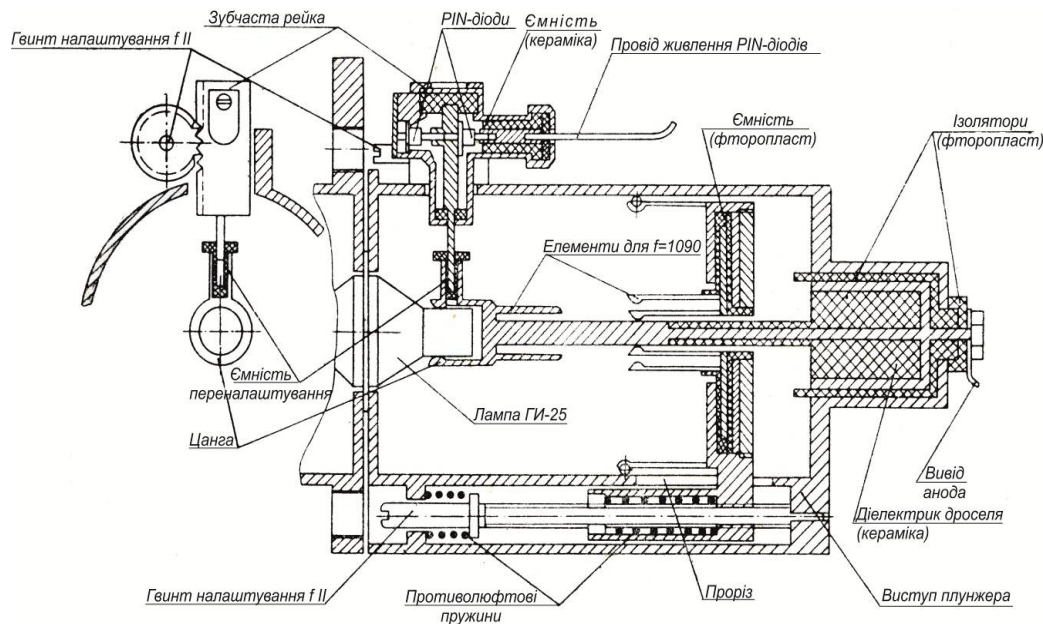


Рис. 3 – Елементи переналаштування генератора НВЧ

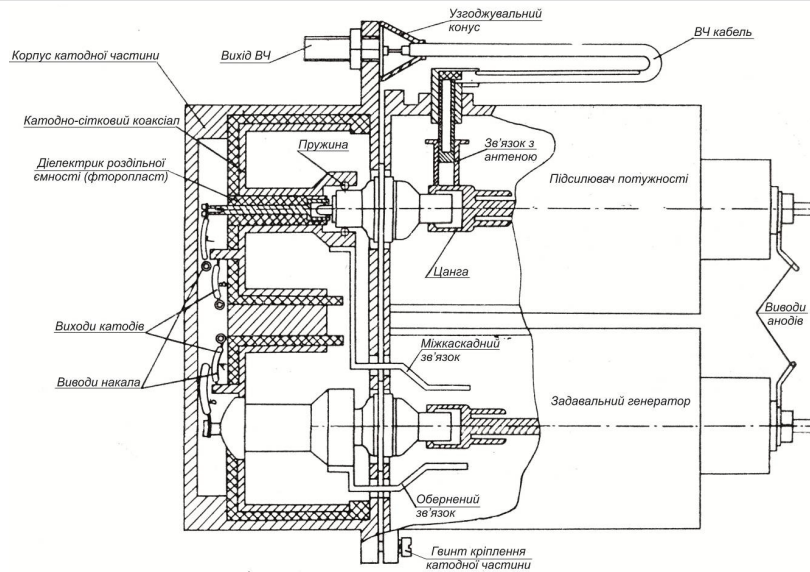


Рис. 4 – Елементи зв'язків генератора НВЧ

Параметри деталей і вузлів ПП: діаметр стакана катодно-сіткового контуру $Q_1 \text{ ч } 10^{-3}$, м; діаметр корпусу катодно-сіткового контуру $Q_2 \text{ ч } 10^{-3}$, м; середнє арифметичне відхилень профілю поверхні корпусу анодного контуру $Q_3 \text{ ч } 10^{-6}$, м; зусилля притиснення великого плунжера до стінки контуру $Q_4 \text{ ч } 10^2$, Н.

Введемо кодовані безрозмірні значення первинних конструктивно-технологічних факторів:
а) задаючого генератора:

$$x_1 = q_1 - 2,5; x_2 = (q_2 - 33,065 \text{ ч } 10^{-3}) \text{ ч } 28,57 \text{ ч } 10^3; x_3 = (q_3 - 32,01 \text{ ч } 10^{-3}) \text{ ч } 10^5; \quad (9)$$

$$x_4 = (q_4 - 6,25 \text{ ч } 10^{-3}) \text{ ч } 26,67; x_5 = q_5 - 600 \text{ ч } 10^{-2}; x_6 = (q_6 - 7,85 \text{ ч } 10^{-7}) \text{ ч } 2,15 \text{ ч } 10^6;$$

б) підсилювача потужності:

$$Z_1 = (Q_1 - 32,01 \text{ ч } 10^{-2}) \text{ ч } 10^{-5}; Z_2 = (Q_2 - 33,065 \text{ ч } 10^{-3}) \text{ ч } 28,57 \text{ ч } 10^3; \quad (10)$$

$$Z_3 = (Q_3 - 0,395 \text{ ч } 10^{-6}) \text{ ч } 425,53; Z_4 = Q_4 - 6.$$

З метою визначення мінімального числа повторень кожного досліду декількома складальниками, які працюють на різних робочих місцях з встановленою на них апаратурою, було проведено складання 50-ти відповідачів зі значеннями первинних факторів на верхніх рівнях інтервалів варіювання. Після складання кожного відповідача вимірювалась потужність вихідного сигналу P .

Для перевірки нормальності розподілу результатів проведеного експерименту застосовувався критерій Пірсона $\chi^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^k (m_i - m p_i^2) / p_i = 10,1$. Оскільки знайдене за таблицею [5] критичне значення для критерію χ^2 дорівнює $\chi^2 = 31,3$, що більше обчисленого значення критерію, то з надійністю висновку 0,999 перевіркою нормальний розподіл добре узгоджується з результатами експерименту.

З врахуванням нормальності розподілу можна побудувати довірчі інтервали для середнього квадратичного відхилення S з надійністю $\gamma_2 = 0,99$ і математичного сподівання M з надійністю:

$$S_{eml} (1 - \xi) \text{ ч } S \text{ ч } S_{eml} (1 + \xi) \text{ ч } S_{eml} (1 - \xi) \text{ ч } S \text{ ч } S_{eml} (1 + \xi), \quad (11)$$

$$|\bar{P} - M| \text{ ч } t_{\gamma} S / \sqrt{n}, \quad (12)$$

де $\xi = 0,3$ знаходиться за таблицею за заданим обсягом вибірки $m = 50$ і надійністю 0,99; квантіль Ст'юдента $t_\gamma = 2,58$ знаходиться за таблицею як аргумент функції Лапласа із умови $\Phi(t) = 0,99/2$.

Припускаючи, що події, які полягають у тому, що виконуються нерівності (11) і (12) – незалежні, з надійністю $\gamma = \gamma_1\gamma_2 = 0,98$ можна записати нерівність:

$$|M - \bar{P}| \leq t_\gamma (1 + \xi) S / \sqrt{n}. \quad (13)$$

Із співвідношення (13) з надійністю $\gamma = 0,98$ і можна визначити таку мінімальну кількість реалізацій досліду n , яке необхідно, щоб середнє значення отриманих реалізацій величини P відрізнялось від істинного значення вимірювальної потужності не більше, ніж на задане число δ . Припускаючи $\delta = t_\gamma (1 + \xi) S / \sqrt{n} = 40$, знаходимо:

$$n = t_\gamma^2 S^2 (1 + \xi^2)^2 \delta^{-2} + 1 = [4,6] + 1 \approx 5.$$

Далі у відповідності з викладеною у [4] методикою побудови гібридної статистично-детермінованої моделі роботи генератора НВЧ утворюється допоміжна функція:

$$P_1 = \varphi_{10} \varphi_{20}. \quad (14)$$

За допомогою ПФЕ визначається поліноміальне представлення функції (14) рядом Тейлора, де в якості кодованих первинних факторів приймаються $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ (9). Стратегія проведення ПФЕ типу 2^6 була представлена у вигляді матриці. Перевірка умов симетричності, нормування і ортогональності матриць ПФЕ типу 2^6 показало, що побудована матриця задовольняє ці умови.

Для виключення впливу на результати експерименту помилок, викликаних зовнішніми умовами, наприклад, зміною температури навколишнього середовища, дрейфом параметрів вимірювальної установки і т.д., досліди необхідно рандомізувати в часі. Рандомізація порядку проведення дослідів АПЕ забезпечувалась шляхом використання таблиці випадкових чисел.

За експериментальними і розрахунковими даними знаходили коефіцієнти полінома ряду Тейлора. Після вибору значимих коефіцієнтів шукана функція P_1 має вигляд:

$$P_1 = 452,81 + 6,56x_1 + 11,56x_3 + 15,94x_4 + 49,06x_5 + 163,44x_6. \quad (15)$$

Далі за критерієм Фішера перевірялась адекватність отриманої моделі, з врахуванням того, що під адекватністю моделей процесів зборки розуміється встановлення їх придатності у даних конкретних умовах, тобто по відношенню до отриманих експериментальних даних.

Допоміжна функція:

$$P_2 = \varphi_{10} \varphi_{20}. \quad (16)$$

одержана аналогічними дослідженнями, отже отримана адекватна модель має вигляд:

$$P_2 = 476,87 - 5,62Z_1 + 14,37Z_2 + 68,13Z_3 + 159,37Z_4 - 10,62Z_1Z_4. \quad (17)$$

За формулою 14 записуємо кінцевий вигляд модельованої функції потужності ($P_2 = 700$ Вт):

$$P = \frac{1}{700} (452,81 + 6,56x_1 + 11,56x_3 + 15,94x_4 + 49,06x_5 + 163,44x_6) \cdot \\ \cdot (476,87 - 5,62z_1 + 14,37z_2 + 68,13z_3 + 159,37z_4 - 10,62z_1z_4).$$

Вираз же потужності через абсолютні змінні має вигляд:

$$P = (-622,537 + 0,0094q_2 + 1651,4286q_3 + 3643,429q_4 + 49,06q_5 + 351,484 \cdot 10^6 q_6) \cdot \\ \cdot (-46,904 - 802,857Q_1 + 586,531Q_2 + 2780816,33Q_3 + 0,228Q_4 - 0,0152 \cdot 10^{-5} Q_4Q_4). \quad (18)$$

Виявлення, аналіз і шляхи усунення впливу основних дестабілізуючих первинних факторів

Встановлені залежності потужності вихідного ВЧ-сигналу від первинних факторів відповідача дозволило ставити обернену задачу синтезу допусків, а саме визначення таких допусків на ці фактори, за яких забезпечувалось би виконання умови на розглянуту вихідну характеристику

$$P_i \leq P_0. \quad (19)$$

де P_0 – мінімальне значення потужності, яке відповідає вимогам ТУ.

Розглянута обернена задача може бути сформульована наступним чином [6]. При заданих номінальних значеннях первинних факторів $X_0 = [q_{10}, q_{20}, q_{30}, q_{40}, q_{50}, q_{60}, Q_{10}, Q_{20}, Q_{30}, Q_{40}]$ необхідно визначити такі допустимі їх відхилення $\delta_i, i = \overline{1,10}$ від номінальних значень, щоб в отриманому паралелепіпеді $P_{10} = \{X = [x_i]_{i=1}^{10} \in R^5 : x_{i0} - \delta_i/2 < x_i \leq x_{i0} + \delta_i/2, i = \overline{1,10}\}$ виконувалась умова (19) на вихідну характеристику.

Оскільки виходячи з міркувань економії допуски на всі параметри бажано максимально розширити, то розглядана задача є багатокритеріальною, а множина частинних критеріїв може бути сформульована у вигляді:

$$-\delta_i \rightarrow \min, i = \overline{1,10}.$$

Отримавши методом парних порівнянь вектор вагових коефіцієнтів $W = [w_i]_{i=1}^{10}$, задача була скаляризована $F_1 = \min_{\{\delta_i\}_{i=1}^{10}} \sum_{i=1}^{10} w_i \delta_i$, де $w_i \geq 0, \sum_{i=1}^{10} w_i = 1$ – нормовані додатні числа, що визначаються із виробничих або економічних міркувань.

Отже, задача синтезу допусків зводиться до визначення таких значень допусків $\delta_i, i = \overline{1,10}$, за яких досягається максимум цільової функції F_1 за умови виконання обмежень (19). Обмеження на первинні фактори і вихідну характеристику відповідача задавалися системою нерівностей:

$$\begin{aligned} 50 \cdot 10^{-2} \leq q_1 \leq 450 \cdot 10^{-2}, & \quad P_i \leq 600, & \quad 32,995 \cdot 10^{-3} \leq Q_2 \leq 33,135 \cdot 10^{-3}, & \quad (20) \\ 5 \cdot 10^{-6} \leq q_4 \leq 20 \cdot 10^{-6}, & \quad 50 \cdot 10^{-2} \leq Q_1 \leq 450 \cdot 10^{-2}, & \quad 31,91 \cdot 10^{-3} \leq Q_3 \leq 32,11 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Значення первинних факторів ЛВ, отримані при δ_i , що доставляють максимум функції F_1 за різних наборів значень коефіцієнтів w_i , для $P_{0\text{вм}600}$, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Номінальне значення первинних факторів ЛВ

$q_{10} \cdot 10^2 = 250 \text{ Н}$	$q_2 \cdot 10^{-3} = 33,065, \text{ м}$	$q_3 \cdot 10^{-3} = 32,01, \text{ м}$	$q_{40} \cdot 10^{-6} = 6,25 \text{ м}$	$q_5 \cdot 10^2 = 600, \text{ Н}$
$q_6 \cdot 10^{-6} = 0,785, \text{ м}$	$Q_{10} \cdot 10^2 = 250 \text{ Н}$	$Q_{20} \cdot 10^{-3} = 33,065 \text{ м}$	$Q_{30} \cdot 10^{-3} = 32,01 \text{ м}$	$Q_4 \cdot 10^2 = 600, \text{ Н}$

Розв'язання задачі синтезу допусків на первинні фактори моделі (18) показало, задача не має розв'язку, тобто для досягнення умов працездатності при даній технології виготовлення для даної конструкції допуски мають бути настільки малими і меншими, ніж (20), що не можуть бути реалізованими на підприємстві. Стало очевидним, що для виконання (19) необхідно змінювати конструкцію або технологію виготовлення передавача ЛВ.

Проведені дослідження показали, що факторами, які найсуттєвіше впливають на модельовану функцію потужності вихідного ВЧ-сигналу, є наступні параметри деталей і вузлів ЗГ і ПП: середнє квадратичне відхилення профілю поверхні корпусу анодного контуру (q_6, Q_3); зусилля притиснення великого плунжера до стінки контуру (q_5, Q_4). Порівняння коефіцієнтів впливу цих факторів на величину потужності факторів, показує, що перші в 3...30 разів більше. Отже, були виявлені два пріоритетні фактори, що найсуттєвіше впливають на величину потужності вихідного ВЧ-сигналу ЛВ.

З метою дослідження можливості зміни значень цих факторів в процесі експлуатації і їх дестабілізуючого впливу на величину вихідної потужності на заводі-виготовлювачі була проведена нарада фахівців, де було встановлено наступне.

У діапазоні НВЧ в якості коливальних систем застосовуються об'ємні резонатори, в яких на потужність суттєво впливає перехідний опір контактів поршня з корпусом резонатора і з анодною цангою. Для забезпечення надійного контакту необхідно мати внутрішню поверхню корпусу резонатора і

зовнішню – анодну цанги, достатньо високого класу чистоти. Однак при частому пере налаштуванні контуру резонатора виникає неоднорідна виробітка поверхні контактів через витирання шару срібла, яким покриті плунжери, що приводить до великого розкиду величини перехідного опору контактів по довжині їх переміщення. Через це мають місце значні відхилення електричних параметрів резонатора, зокрема, вихідної потужності в процесі експлуатації.

Отже, було встановлено, що розглянуті пріоритетні фактори і можуть дестабілізувати величину вказаної потужності. Дослідження ж можливості підтримки значень вказаних факторів на певному рівні протягом всього терміну експлуатації показало, що для першого з них виконання такої вимоги досягається важко і дорого, а регулювання зусилля притиснення великого плунжера до стінки корпусу взагалі не передбачене в конструкції.

Крім того, навіть забезпечення вказаних вимог не усуває витирання тонкого шару срібла на поверхні плунжера. У зв'язку з цим подальші заходи із забезпечення вказаних вимог на розглянуті дестабілізуючі фактори були визнані малоефективними, і було прийнято рішення про необхідність доопрацювання конструкції ЛВ.

Конструкція резонатора була спрощена шляхом введення діелектричної колби, діелектричної основи і срібних сегментів, оскільки при використанні діелектричного стакану відпадає необхідність центрування поршня, знижуються вимоги до класу точності виготовлення поверхнею металічної колби і корпусу резонатора, а виключення безпосереднього контакту поршня з корпусом резонатора дозволяє знизити вимоги до чистоти внутрішньої поверхні корпусу резонатора і металічного стакану. Отже, у новій контактній-безконтактній конструкції ЛВ вдається усунути дестабілізуючі фактори, що впливають на величину потужності вихідного ВЧ-сигналу.

Тут необхідно відмітити наступну обставину. Аналіз показує, що виміряні під час АПЕ значення вихідної потужності ЛВ старої конструкції застосовуються у достатньо широких межах, від 210 до 740 Вт. Причому, лише частина з них відповідає вимогам ТУ, згідно яких $P \geq 600$ Вт. Така ситуація пояснюється тим, що при постановці експерименту збираються відповідачі зі всіма можливими сполученнями значень первинних факторів, а найнесприятливіші такі сполучення і дають значення потужності, що лежать поза меж ТУ. Така ж ситуація можлива і на виробництві, оскільки зміна первинних факторів в експерименті відбувалась в межах, передбачених ТУ на них. Однак на виробництві робочий, який проводить збірку відповідачів, на основі свого досвіду, а часто-густо і на дотик, замінює окремі деталі і вузли так, щоб значення вихідної потужності відповідача досягло заданого рівня. Очевидно, що таке складання неефективна, по-перше, внаслідок своєї трудомісткості, а по-друге, в такій ситуації, як правило, потужність приймає значення поблизу нижньої границі допуску. З цієї причини окрім виробничої модифікації конструкції відповідача необхідно розробити програму цілеспрямованої його зборки.

Забезпечення заданого рівня потужності вихідного ВЧ-сигналу в модифікованій конструкції вузла тертя ЛВ

Для модифікованої конструкції ЛВ також була побудована гібридна статистично-детермінована модель. Побудова моделі нової конструкції ЛВ проводилась у повній відповідності з методикою, викладеною у [4], аналогічно детально описаному вище випадку. В результаті був отриманий наступний вид залежності потужності P від наведених в таблиці 5 факторів:

$$P = (8,8505 + 0,1094q_1 - 0,028410^6 q_4) \Psi (22509,043 + 3,124Q_1 + 124857Q_2 - 812000Q_3). \quad (21)$$

Для нової конструкції була поставлена і розв'язана обернена задача синтезу допусків на первинні фактори, за яких забезпечувалось би виконання умови на розглянуту вихідну характеристику (19). Задача полягала у пошуку при заданих номінальних значеннях первинних факторів $X_0 = [q_{20}, q_{40}, Q_{10}, Q_{20}, Q_{30}]$ таких допустимих їх відхилень δ_i , $i = \overline{1,5}$ від номінальних значень, щоб в отриманому паралелепіпеді $P_5 = \{X = [x_i]_{1 \times 5} \in R^5 : x_{i0} - \delta_i/2 < x_i \leq x_{i0} + \delta_i/2, i = \overline{1,5}\}$ виконувалась умова (19) на вихідну характеристику. Критерій оптимальності був сформульований у вигляді:

$$F_1 = \min_{\{\delta_i\}_{i=1}^5} \sum_{i=1}^5 w_i \delta_i \quad (w_i = 0,2, i = \overline{1,5}).$$

Отже, для нової конструкції відповідача було проведено визначення допусків на первинні фактори відповідача, номінальні значення яких наведені в табл. 2. Розв'язання задачі відбувалось аналогічно описаному вище у випадку δ_i , $i = \overline{1,10}$. Результати розрахунків представлені у табл. 3.

Таблиця 2		Таблиця 3	
Номінальні значення первинних факторів ЛВ		Оптимальні значення первинних факторів ЛВ	
$q_1 \cdot 10^2$, Н	250	Первинні фактори множини значень	Нижня границя
$q_4 \cdot 10^{-6}$, м	6,25	$q_1 \cdot 10^2$, Н	Верхня границя
$Q_1 \cdot 10^2$, Н	250	$q_4 \cdot 10^{-6}$, м	211
$Q_2 \cdot 10^{-3}$, м	33,065	$Q_1 \cdot 10^2$, Н	289
$Q_3 \cdot 10^{-3}$, м	32,01	$Q_2 \cdot 10^{-3}$, м	6,25
		$Q_3 \cdot 10^{-3}$, м	20
		$Q_4 \cdot 10^{-3}$, м	450
		$Q_5 \cdot 10^{-3}$, м	33,01
		$Q_6 \cdot 10^{-3}$, м	33,12
		$Q_7 \cdot 10^{-3}$, м	31,93
		$Q_8 \cdot 10^{-3}$, м	32,09

Визначені допуски на первинні фактори ЛВ виявились прийнятними для підприємства-виробника. При дотриманні вказаних допусків гарантується відповідність потужності вихідного ВЧ-сигналу вимогам ТУ.

Висновки

Розроблено метод побудови гібридних статистично-детермінованих моделей багатокаскадних об'єктів і побудована гібридна статистично-детермінована модель формування потужності вихідного ВЧ-сигналу літакового відповідача під дією первинних факторів механічної природи, що дало змогу виявити пріоритетні фактори, які дестабілізують величину вихідної потужності.

Шляхом розв'язання оберненої задачі параметричного синтезу допусків на первинні фактори моделі конструкції встановлено, що в існуючій конструкції літакового відповідача неможливо забезпечити його працездатність через витирання поверхні із шару срібла в процесі експлуатації вузла тертя – механічного резонатора, оскільки необхідні для цього допуски на чистоту поверхні і розміри резонатора не можуть бути витримані. Запропоновано змінити конструкцію для усунення впливу негативних факторів.

Побудована гібридна статистично-детермінована модель формування потужності вихідного ВЧ-сигналу під дією первинних факторів механічної природи для нової безконтактної конструкції літакового відповідача. Шляхом розв'язання оберненої задачі параметричного синтезу допусків на первинні фактори моделі нової конструкції визначено область працездатності ЛВ у вигляді допустимих значень параметрів, дотримання яких забезпечило б виконання ТУ. Допуски виявились прийнятними для підприємства-виробника.

Література

1. Jacek P. The Uncertainty and Robustness of the Principal Component Analysis as a Tool for the Dimensionality Reduction / P. Jacek, S. P. Ewa // Solid State Phenomena. – 2015. – Т. 235.
2. Pietraszek J. Bootstrap Identification of Confidence Intervals for the Non-Linear DoE Model / J. Pietraszek, N. Radek, M. Stojek, A. Goroshko, M. Kołomycki // Applied Mechanics and Materials, Vol. 712, pp. 11-16, Jan. 2015.
3. Горошко А.В. Обеспечение заданного уровня мощности самолетного ответчика путем решения обратных задач / А.В. Горошко, А.К. Яновицкий, В.П. Ройзман // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – 5 - 10 червня 2015 р., м. Одеса (Затока). – С. 195-197
4. Goroshko A. Construction and practical application of hybrid statistically-determined models of multistage mechanical systems/ A. Goroshko, V. Royzman, J. Pietraszek // Mechanics. – 2014. – Т. 20. – №. 5. – pp 489-493.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // 2-е изд., стер. – М.: Высш шк., 2000. – 480с.: ил.

6. Горошко А.В. Параметричний синтез допусків як множинна обернена задача забезпечення працездатності складних технічних систем / А. В. Горошко, В.П. Ройзман // Проблемы машиностроения. – 2014. – Том 17. – № 4. – С. 43-50.

Поступила в редакцію 23.11.2015

Goroshko A.V., Royzman V.P. **Preserving the Friction Units Mechanical Systems Aircraft Defendant.**

The method of construction of hybrid statistically deterministic models of multi objects. The method is based hybrid model is determined statistically the odds-ming power of the output RF signal of the aircraft under the influence of the defendant primary factors of mechanical nature. Posed and solved the inverse problem of parametric synthesis of tolerances for primary factors of the model construction. The lack of solutions means that existing constructions, of aircraft can not be respondent to ensure its operability. The reason is the wiping-out of the surface of the silver layer during the operation of the mechanical resonator assembly friction. Optionally-sary to perform TU tolerances surface finish and dimensions of the cavity can not be you-hold in the company. It is proposed to change the design to eliminate the influence of negative facts-tors and built hybrid statistically deterministic model for the new contactless-struction intercept aircraft defendant. Posed and solved the inverse problem of parametric synthesis admits Cove on the primary factors of the new design and identify areas of efficiency of aircraft defendant as tolerance parameters that are acceptable to the manufacturer, compliance with which ensures that the TU.

Keywords: friction knot, resonator, efficiency, airplane defendant, APE, mathematical model, inverse problem, synthesis tolerances.

References

1. Jacek P., Ewa S.P. The Uncertainty and Robustness of the Principal Component Analysis as a Tool for the Dimensionality Reduction. *Solid State Phenomena*. 2015. T. 235.
2. Pietraszek J., Radek N., Stojek M., Goroshko A., Kołomycki M. Bootstrap Identification of Confidence Intervals for the Non-Linear DoE Model. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 712, pp. 11-16, Jan. 2015.
3. Goroshko A.V., Yanovitskiy A.K., Royzman V.P. Obespechenie zadannogo urovnya moschnosti samoletnogo otvetchika putem reshe-niya obratnyih zadach / A.V. Goroshko, Materlali XIV mizhnarodnoyi nauko-vo-tehnichnoyi konferentsiyi "Vimiryuvalna ta obchislyuvalna tehnika v tehnologichnih protsesah", 5 - 10 chervnya 2015 r., m. Odesa (Zatoka). С. 195-197
4. Goroshko A., Royzman V., Pietraszek J. Construction and practical application of hybrid statistically-determined models of multistage mechanical systems. *Mechanics*. 2014. T. 20. №. 5. pp. 489-493.
5. Venttsel E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya veroyatnostey i ee inzhenernyie prilozheniya*. Ucheb. posobie dlya vtuzov. 2-e uzd., ster.-M.: Vyssh shk., 2000. 480s.
6. Горошко А.В., Ройзман В.П. Параметричний синтез допусків як множинна обернена задача забезпечення працездатності складних технічних систем. *Проблемы машиностроения*. 2014. Том 17, № 4 С. 43-50.