

УДК 621.8



В. М. Нечипоренко



В. А. Сало



П. І. Літовченко



Д. О. Верхорубов



О. В. Згодько

ДОСЛІДЖЕННЯ КРУГОВОЇ ВІРОГІДНОЇ ЗОНИ ПРИДАТНИХ ПОСАДОК З НАТЯГОМ ПРИ АНАЛІТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

Розглянуто і обґрунтовано вибір остаточної форми вірогідної зони локалізації кінцевої множини придатних посадок, необхідної для прийняття раціонального проектного рішення, та запропоновано алгоритм її опису за допомогою аналітичного апарату теорії R -функцій у двовимірній системі координат при автоматизованому проектуванні посадок з натягом.

Ключові слова: аналітичний апарат теорії R -функцій, посадка з натягом, автоматизований розрахунок; форма вірогідної напівкругової зони; імовірнісний допуск; раціональне проектно рішення; кінцева множина придатних стандартних посадок з натягом; область існування стандартних посадок з натягом.

Постановка проблеми. У процесі виготовлення нових і модернізації існуючих зразків військової техніки та озброєння для Національної гвардії України необхідно виконувати жорсткі вимоги до якісного технічного оснащення військ. Велика увага приділяється якості з'єднань, що застосовуються у таких виробках, та від яких суттєво залежать їх працездатність, ефективність і надійність. Наприклад, посадки з натягом порівняно широко використовуються у машинах і механізмах військового призначення, оскільки мають істотні переваги (можливість автоматизації складання при термічному способі складання, можлива відсутність ушкоджень з'єднувальних поверхонь при такому способі, висока вантажна здатність, можливість демонтажу і т. ін.) та складають до 15 % від загальної кількості з'єднань. Конструкції, як правило, проектують методами прецедентів і подібності, враховуючи суб'єктивний досвід проектування та досвід використання у виробництві. Така ситуація призводить до того, що з'єднання не завжди можуть бути оптимальними за вищезазначеними вимогами, а це не дозволяє виявити резерви підвищення якості з'єднань.

Розроблення обґрунтованих і надійних методів проектування (розрахунок і вибір оптимального рішення, прогнозування їх міцності) є актуальною задачею інженерної практики. Одним із способів вирішення такої проблеми, що дозволить суттєво підвищити технічний рівень і ефективність виробництва, є використання автоматизованого проектування із застосуванням комп'ютерних технологій [1, 2]. Крім того, застосування такого ресурсу за наявності аналітичного моделювання і опису результатів автоматизованого проектування дозволяє скоротити час на виконання розрахунків, підвищити якість конструкторсько-технологічної документації, здійснювати інженерний аналіз спроектованих конструкцій та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх працях [3, 4] авторами за допомогою теорії R -функцій [9] аналітично описана кінцева множина придатних стандартних посадок з натягом (КМПСПЗН) $ABCDEFGHIJKLMNQST$ (рис. 1) при заданому значенні діаметра ($d = 85$ мм) і дискретному значенні довжини з'єднання ($l = 90$ мм). Вона утворена ймовірнісними

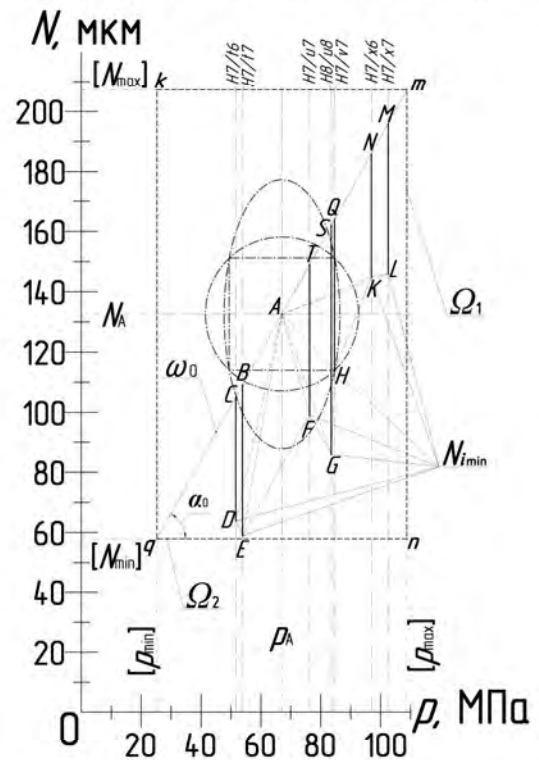


Рис. 1. Пошук форми вірогідної зони відносно найменшого ймовірнісного натягу N_{\min}

допусками стандартних посадок CD , BE , TF , SG , QH , NK і ML , що входять до області існування стандартних посадок з натягом (ОІСПЗН) $ktnq$, та відповідає допустимим критеріям придатності.

Для вибору раціональної посадки у працях [5, 6] запропоновано використати вірогідну зону, яка дозволяє значно зменшити кількість альтернативних придатних посадок з КМПСПЗН. За допомогою тієї ж теорії R -функцій описано кілька варіантів форм (прямокутні, еліпсоїдні та кругові) такої зони. При їх порівняльному аналізі найефективнішою виявилася кругова форма з центром у точці A ($p_i \rightarrow p_A, N_i \rightarrow N_A$) та радіусом AH відносно найближчого до неї значення N_{\min} (точка H) відрізка ймовірного допуска QH (посадки $H7/v7$).

Але виникає питання, чому саме N_{\min} (точка H) є найближчим значенням до точки A ? З ним можуть конкурувати й точки F , K , L ймовірнісних допусків, оскільки вірогідні зони з радіусами AF , AK , AL повністю входять до області ОІСПЗН.

Мета дослідження полягає в остаточному прийнятті та аналітичному моделюванні форми вірогідної зони КМПСПЗН для формулювання критерію вибору раціональної посадки з натягом при автоматизованому проектуванні в двовимірній системі координат.

Виклад основного матеріалу. Дослідження форми вірогідної зони КМПСПЗН продовжимо на прикладі гладкого з'єднання посадок з натягом, які розглядалися у статтях [3–6].

Як видно з аналізу попередніх досліджень, прийняття форми вірогідної зони є достатньо суперечливим питанням. Особливо, якщо дискретне значення робочої довжини з'єднання зміниться, тому що зміниться і положення точок k , n та q ОІСПЗН, а також положення центра симетрії точки A [8, с. 73–74].

При цьому положення ймовірнісних допусків (при тому ж значенні діаметра) залишаться незмінними. Тому прийняття радіуса вірогідної зони відносно точки A та найближчих або найдальших точок найменшого ймовірного натягу N_{\min} при кожному дискретному значенні робочої довжини з'єднання не завжди буде ефективним, оскільки при змінненні дискретного значення довжини величина радіуса зони буде нестабільно змінюватися.

Як один із способів відшукування раціонального проектного рішення для плоскої моделі pN прямокутника $ktnq$ ОІСПЗН (рис. 2) у статті [7, с. 77] запропоновано графоаналітичним способом окреслити у КМПСПЗН кругову вірогідну зону навколо точки A у вигляді півкруга з дугою gsh . Він дотикається у точці s до найближчого відрізка (для нашого прикладу – KH) між двома точками N_{\min} двох сусідніх ймовірнісних допусків посадок $H7/v7$ (точка H відрізка QH) і $H7/x6$ (точка K відрізка NK) множини, що розглядають.

Між точками A і s утворюється радіус $R = As$, перпендикулярний до KH (точка s є точкою перетину відрізків As і KH), яким описується зона півкруга з дугою gsh для вибору раціонального проектного рішення (посадки). Для опису положення радіуса R за допомогою аналітичного рівняння R -функцій необхідно розв'язати систему рівнянь: рівняння відрізка KH , позначеного ω_v та рівняння відрізка As , який позначимо ω_{As} .

Для рівняння відрізка ω_v , напрямком якого збігається з похилою прямою, позначеною ω_{k_i} , що є нижньою границею мінімальних значень натягів між двома точками N_{\min} двох сусідніх ймовірнісних

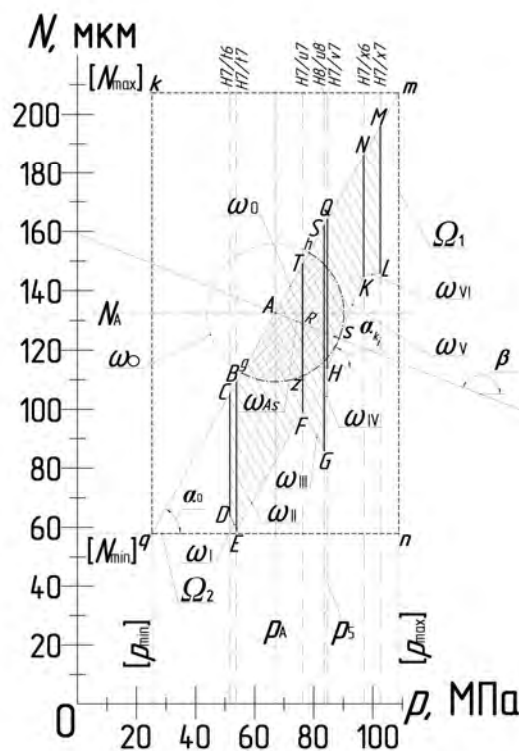


Рис. 2. Прийнята форма вірогідної кругової зони при сталому значенні діаметра ($d = 85$ мм) і дискретному значенні довжини ($l = 90$ мм)

допусків $H7/v7$ (відрізка QH) і $H7/x6$ (відрізка NK) КМПСПЗН, відомі координати $(p_i, N_{i\min})$ і $(p_{i+1}, N_{(i+1)\min})$. Для нашого прикладу – в точках $H(p_5, N_{5\min})$ і $K(p_6, N_{6\min})$. Рівняння прямої ω_{k_i} отримано в статті [4, с. 101]. Оскільки натяг є функцією, що залежить від аргументу питомого тиску з'єднання, тобто $N = f(p)$, то рівняння похилої прямої в системі координат pN має такий вигляд:

$$N = a \cdot p + b. \quad (1)$$

Для визначення шуканих сталих величин a та b у рівнянні (1) треба розв'язати систему рівнянь з урахуванням координат точок $(p_i, N_{i\min})$ та $(p_{i+1}, N_{(i+1)\min})$:

$$\left. \begin{aligned} N_{i\min} &= a \cdot p_i + b, \\ N_{(i+1)\min} &= a \cdot p_{i+1} + b. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Відкля $a = \frac{N_{(i+1)\min} - N_{i\min}}{p_{i+1} - p_i} = \operatorname{tg}(\alpha_{k_i})$ та $b = \frac{N_{i\min} \cdot p_{i+1} - N_{(i+1)\min} \cdot p_i}{p_{i+1} - p_i}$, де α_{k_i} – кут нахилу напрямної відрізка KH до осі p .

Після підстановки цих значень у формулу (1) отримаємо залежність для функції натягу

$$N = \frac{N_{(i+1)\min} - N_{i\min}}{p_{i+1} - p_i} \cdot p + \frac{N_{i\min} \cdot p_{i+1} - N_{(i+1)\min} \cdot p_i}{p_{i+1} - p_i} = p \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{k_i}) + b. \quad (3)$$

Тоді рівняння відрізка KH матиме такий остаточний вигляд:

$$\omega_v = N - p \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{k_i}) - \frac{N_{i\min} \cdot p_{i+1} - N_{(i+1)\min} \cdot p_i}{p_{i+1} - p_i}. \quad (4)$$

Відрізки As та KH перпендикулярні між собою у точці перетину s , тому ця точка належить цим двом відрізкам. Координати точки $A(p_A, N_A)$ визначені у статті [3, с. 74]: $p_A = p - \frac{[p_{\max}] - [p_{\min}]}{2}$ та $N_A = N - \frac{[N_{\max}] - [N_{\min}]}{2}$. Оскільки відрізок As перпендикулярний до KH , то рівняння має такий вигляд:

$$N = -p \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_{k_i}) + d. \quad (5)$$

Після підстановки у формулу (5) координат точки $A(p_A, N_A)$ величина шуканої сталої

$$d = N_A + p_A \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_{k_i}). \quad (6)$$

З урахуванням того, що точка s є точкою перетину відрізків As і KH , її координати p_s і N_s потрібно знайти в результаті розв'язування системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} N_s &= p_s \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{k_i}) + b, \\ N_s &= -p_s \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_{k_i}) + d. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Після математичних перетворень знаходимо координати точки s

$$p_s = \frac{(d-b) \operatorname{tg}(\alpha_{k_i})}{1 + \operatorname{tg}^2(\alpha_{k_i})}; \quad N_s = \frac{b+d \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{k_i})}{1 + \operatorname{tg}^2(\alpha_{k_i})}. \quad (8)$$

Рівняння відрізка As матиме такий вигляд:

$$\omega_{As} = N_s - N_A + (p_s - p_A) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_{k_i}). \quad (9)$$

Рівняння кола, яким обмежується частина вірогідної зони у вигляді півкруга gsh , можна описати за допомогою теорії R -функцій у вигляді

$$\omega_{\varnothing} = R^2 - \left((p - p_A)^2 + (N - N_A)^2 \right). \quad (10)$$

Величина радіуса R визначена за відомим рівнянням кола [7, с. 78]

$$R = \sqrt{(p_s - p_A)^2 + (N_s - N_A)^2}. \quad (11)$$

Рівняння вірогідної зони півкрової форми остаточно можна описати діагоналлю $qm - \omega_0$ [3, 4] та півколовою дугою $gsh - \omega_{\varnothing}$ за допомогою теорії R -функцій таким чином:

$$\omega_{gsh} = (\omega_0 \wedge_0 \omega_{\varnothing}) \geq 0, \quad (12)$$

де \wedge_0 – символ R -кон'юнкції [9].

Слід зазначити, що функції ω_s визначають рівняння $\omega_s = 0$ елементів Γ_s границі досліджуваної зони ω_{gsh} та задовольняють умовам [8]:

$$\omega_s > 0 \text{ всередині } \omega_{gsh}; \quad \omega_s = 0 \text{ та } |\text{grad } \omega_s| = 1 \text{ на } \Gamma_s. \quad (13)$$

Аналітичний вираз формули (12) необхідно використати на останньому етапі отримання остаточного математичного рівняння, що повністю характеризує величину і положення радіуса As та півкрової вірогідної зони з дугою gsh навколо точки A .

З отриманого графіка видно, що до точки A у півкрової зоні найбільш близькою буде точка T відрізка TF імовірного допуску посадки $H7/u7$. Більша його частина Tz потрапляє у цей півкруг, що складає 37,8 мкм. Якщо розглядати посадки $H8/u8$ та $H7/v7$, то їх допуски займають довжини відповідно 32,72 і 31,9 мкм, тобто як критерій вибору посадки $H7/u7$ можна вважати найраціональнішою. Рівняння раціональної частини відрізка Tz (посадки $H7/u7$) згідно з теорією R -функцій

$$\omega_{iz} = \omega_i \wedge_0 \omega_{gsh} = \left((\omega_{iz_p} \vee_0 \omega_{iz_N}) \wedge_0 (\omega_0 \wedge_0 \omega_{\varnothing}) \right) > 0, \quad (14)$$

де \vee_0 – символ R -диз'юнкції [9]; ω_i – аналітична формула i -ї придатної стандартної посадки, яка отримана аналогічно методиці, розглянутої у праці [1, с. 75]:

$$\omega_i = \omega_{iz_p} \vee_0 \omega_{iz_N} = (p - p_i) \vee_0 \left(\left(N - (N_{i\max} + N_{iz}) \right)^2 - \left(\frac{N_{i\max} - N_{iz}}{2} \right)^2 \right). \quad (15)$$

Висновки

У статті запропоновано остаточну форму вірогідної зони КМПСПЗН у вигляді півкруга, геометричний центр симетрії якого збігається з центром A прямокутника $ktnq$ ОІСПЗН. Довжина радіуса залежить від дискретного значення робочої довжини і визначається як відстань між центром прямокутника $ktnq$ та точкою s , що належить відрізку нижньої границі мінімальних значень натягів між двома точками N_{\min} двох сусідніх імовірнісних допусків (точка перетину відрізків As і KH).

Із застосуванням теорії R -функцій аналітично описано радіус та форму прийнятої вірогідної зони, а також раціональну частину відрізка, за величиною якого приймається остаточне проектне рішення.

Таке математичне обґрунтування є підґрунтям для визначення основних положень критерію вибору раціонального рішення серед альтернативних інших для певного дискретного значення довжини при аналітичному моделюванні плоскої моделі ОІСПЗН.

Список використаних джерел

1. Никифоров, А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения [Текст] / А. Д. Никифоров. – Москва : Высш. шк., 2000. – 512 с.
2. Автоматизированный выбор посадок с натягом с использованием ПЭВМ [Текст] / сост. Л. Л. Роганов, А. П. Мартынов – Краматорск : ДГМА, 2000. – 19 с.

3. Використання теорії R -функцій для створення раціональних посадок з натягом [Текст] / В. М. Нечипоренко, В. А. Сало, П. І. Літовченко та ін. // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків : НАНГУ, 2016. – Вип. 2. – С. 72–76.
4. Метод аналітичного опису кінцевої множини придатних посадок з натягом в області існування її n -параметричної моделі [Текст] / В. М. Нечипоренко, В. А. Сало, П. І. Літовченко, Л. П. Іванова // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків : НАНГУ, 2017. – Вип. 1. – С. 97–102.
5. Сало, В. А. Дослідження вірогідної зони придатних посадок з натягом при автоматизованому проектуванні [Текст] / В. А. Сало, А. П. Горбунов, В. М. Нечипоренко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – Вип. 2, т. 1. – С. 73–77. – (Серія “Технічні науки”).
6. Дослідження криволінійних форм вірогідної зони придатних фрикційних з’єднань [Текст] / А. П. Горбунов, В. М. Нечипоренко, В. А. Сало, П. І. Літовченко // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків : НАНГУ, 2017. – Вип. 2. – С. 88–92.
7. Новий науково обґрунтований метод автоматизованого проектування посадок з натягом [Текст] / П. І. Літовченко, В. М. Нечипоренко, В. А. Сало, Л. П. Іванова // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. – Вип. 1. – С. 74–79.
8. Універсальний алгоритм вибору посадки з натягом на основі нового методу автоматизованого розрахунку її раціональних параметрів [Текст] / В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, В. А. Сало, Л. П. Іванова // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. – Вип. 2. – С. 72–75.
9. Метод R -функцій в задачах об изгибе и колебаниях сложной формы [Текст] / В. Л. Рвачев, Л. В. Крупа, Н. Г. Склепус, Л. А. Учишвили. – Киев : Наук. думка, 1973. – 124 с.

Стаття надійшла до редакції 01.02.2018 р.

УДК 621.8

В. Н. Нечипоренко, В. А. Сало, П. И. Литовченко, Д. А. Верхорубов, А. В. Згодько

ИССЛЕДОВАНИЕ КРУГОВОЙ ДОСТОВЕРНОЙ ЗОНЫ ПРИГОДНЫХ ПОСАДОК С НАТЯГОМ ПРИ АНАЛИТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Рассмотрен и обоснован выбор окончательной формы достоверной зоны локализации конечного множества пригодных посадок, необходимой для принятия рационального проектного решения, и предложен алгоритм ее описания с помощью аналитического аппарата теории R -функций в двухмерной системе координат при автоматизированном проектировании посадок с натягом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: аналитический аппарат теории R -функций, посадка с натягом, автоматизированный расчет, форма достоверной полукруговой зоны, вероятностный допуск, рациональное проектное решение, конечное множество пригодных стандартных посадок с натягом, область существования стандартных посадок с натягом.

UDC 621.8

V. M. Nechiporenko, V. A. Salo, P. I. Litovchenko, D. O. Verkhorubov, O. V. Zhodko

RESEARCH OF CIRCULAR RELIABLE ZONE OF SUITABLE INTERFERENCE FIT AT ANALYTICAL DESIGN

In the offered scientific work, the choice of the final form of a reliable localization zone of a finite set of suitable interference fit have been considered and justified. Based on the analytical studies, the configuration of the specified zone is established in the form of a two-parameter area of their existence for a given discrete value of the working length of the connection, namely, in the form of a semicircle of a regulated radius. The proposed method underlies a new approach to the automated design of interference fits in smooth cylindrical connections of the general machine-building and special uses for the thermal method of fitting.

The form of the localization zone is considered in a two-dimensional coordinate system (specific pressure p and interference N , respectively) and is one of the necessary conditions for the acceptance one of rational design solution from a variety of alternatives obtained by automated calculation. The final form of realization of the proposed method is the algorithm developed by the authors of the description form of the zone, its of radius and the points of intersection its with the tangent line, which was studied through of an analytical apparatus of the theory R -functions. The author's program for the automated calculation of interference fits was developed on the basis of the offered algorithm.

The effectiveness of the offered method is confirmed by the results of the study is confirmed by the results of the study in smooth, keyless connections (as the sleeves of hubs of a gear or worm wheel with a shaft, and a bandage crown with a wheel hub base) of mechanical transmission by gearing on a cylindrical surface

during the transfer a combined action of the axial force and torque. Calculating and analytical studies, confirming the conformity of the geometric form of the mathematical model of the localization zone, implemented through the program developed by the authors.

Key words: analytical apparatus of the theory of R -functions, interference fit, automated calculation, form of a reliable semicircular zone, probabilistic tolerance, rational design solution, a finite set of suitable standard interference fits, area of existence of standard interference fits.

Нечипоренко Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

Сало Валентин Андрійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

Літовченко Петро Іванович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

Верхорубов Дмитро Олександрович – курсант Національної академії Національної гвардії України.

Згодько Олександр Вікторович – курсант Національної академії Національної гвардії України.