

УДК 621.8



А. П. Горбунов



В. М. Нечипоренко



В. А. Сало



П. І. Літовченко

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВОЛІНІЙНИХ ФОРМ ВІРОГІДНОЇ ЗОНИ ПРИДАТНИХ ФРИКЦІЙНИХ З'ЄДНАНЬ

Запропоновано результати дослідження форми вірогідної зони раціональних проектних рішень при автоматизованому проектуванні з'єднань з натягом по гладкій поверхні. Для аналітичного опису просторової форми вказаної зони ефективно використовується математичний апарат теорії R -функцій.

Ключові слова: теорія R -функцій; автоматизований розрахунок; посадка з натягом; фрикційне з'єднання; кінцева множина придатних посадок; вірогідна зона.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку озброєння і військової техніки на перший план висувається суттєве поліпшення їх якості і надійності.

Одним з поширених видів гладких з'єднань в сучасних машинах військового призначення є фрикційні з'єднання (посадки з натягом) – відповідальні елементи машин, що значною мірою визначають довговічність та безвідмовність їх роботи. Разом з тим міцність, герметичність та інші показники якості подібних спряжень не завжди забезпечують їх надійне функціонування. Причиною цього є недостатня вивченість таких типів посадок, що пов'язане з імовірнісним характером зміни основного параметра – натягу в з'єднанні. Більшість існуючих типових методик проектування з'єднань з натягом розроблені на основі даних експериментальних досліджень. Це ускладнює раціональний розрахунок з'єднань та не дозволяє належним чином забезпечувати їх функціональні показники.

Автоматизація проектування фрикційних гладких з'єднань дозволяє зменшити фактор випадковості при їх складанні та скоротити кількість експериментальних досліджень, що може значно підвищити ефективність та якість процесу проектування. Отже, особливу увагу важливо приділити вибору остаточного проектного рішення серед сукупної кількості альтернативних. Тому проблема створення аналітичної моделі області локалізації раціональних посадок з натягом є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами статті проведені наукові дослідження [1–4], спрямовані на модернізацію розроблених раніше програмних засобів, призначених для автоматизованого проектування фрикційних з'єднань. Основна увага при цьому приділялась методиці вибору раціональної стандартної посадки з натягом як остаточного проектного рішення. На основі результатів чисельно-аналітичних досліджень, проведених за допомогою розробленої комп'ютерної програми “Pressing boarding”, авторами запропоновано аналітичний опис сукупності придатних фрикційних з'єднань у дискретному перерізі n -параметричної моделі для певного значення довжини посадки l (див. рис. 1).

Дослідження [5] спрямовані на пошук форм вірогідної зони сукупності придатних посадок з натягом у двовимірній системі координат плоскої моделі pN (p – питомий тиск у посадці, N – натяг у з'єднанні). За допомогою математичного апарату теорії R -функцій [6] аналітично описані передбачувані прямокутні форми вірогідної зони, в результаті використання яких значно скорочується кількість придатних посадок з кінцевої множини альтернативних. При застосуванні вірогідних зон у вигляді прямокутника пошук полегшується, але при цьому не гарантується прийняття найбільш раціонального проектного рішення, яке залежить від суб'єктивного фактора – досвіду і кваліфікації проектувальника. Враховуючи вказаний недолік, у даній статті досліджуються вірогідні зони кінцевої множини придатних стандартних посадок з натягом (КМПСПЗН) еліпсоїдної і кругової форм.

Мета статті полягає у дослідженні альтернативних форм вірогідної зони сукупності придатних стандартних посадок з натягом для підвищення ефективності пошуку найбільш раціонального проектного рішення.

© А. П. Горбунов, В. М. Нечипоренко, В. А. Сало, П. І. Літовченко, 2017

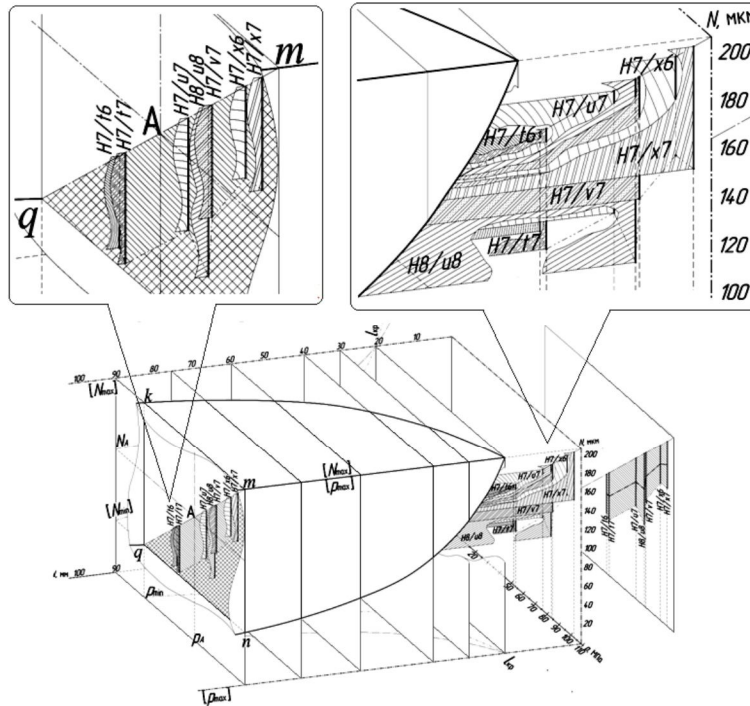


Рис. 1. Комплексні результати дослідження з'єднання з натягом у вигляді об'ємної моделі за дискретних значень довжини посадки

Виклад основного матеріалу. Розглянемо приклад фрикційного гладкого з'єднання, представлений у працях [3–5]. Прийняття еліпсоїдної форми вірогідної зони з центром у точці A , на відміну від прямокутної, дає можливість мінімізувати кількість альтернативних посадок у пошуку остаточного проектного рішення. При цьому, як і раніше у працях [1, 3, 5], критерієм вибору найбільш раціональної посадки є мінімальна довжина ймовірнісного допуску у вірогідній зоні. Якщо в множині КМПСПЗН (рис. 2, а) за основу прийняти найвіддаленіше значення N_{\min} від центра симетрії A і описати навколо нього еліпсону замкнену лінію, що торкається точки E з найбільшими радіусами $R_{\max} = AU = AW$ вздовж вертикальної осі симетрії та найменшими радіусами $R_{\min} = AV = AX$ вздовж горизонтальної, то отримаємо вірогідну зону для вибору посадки з множини КМПСПЗН.

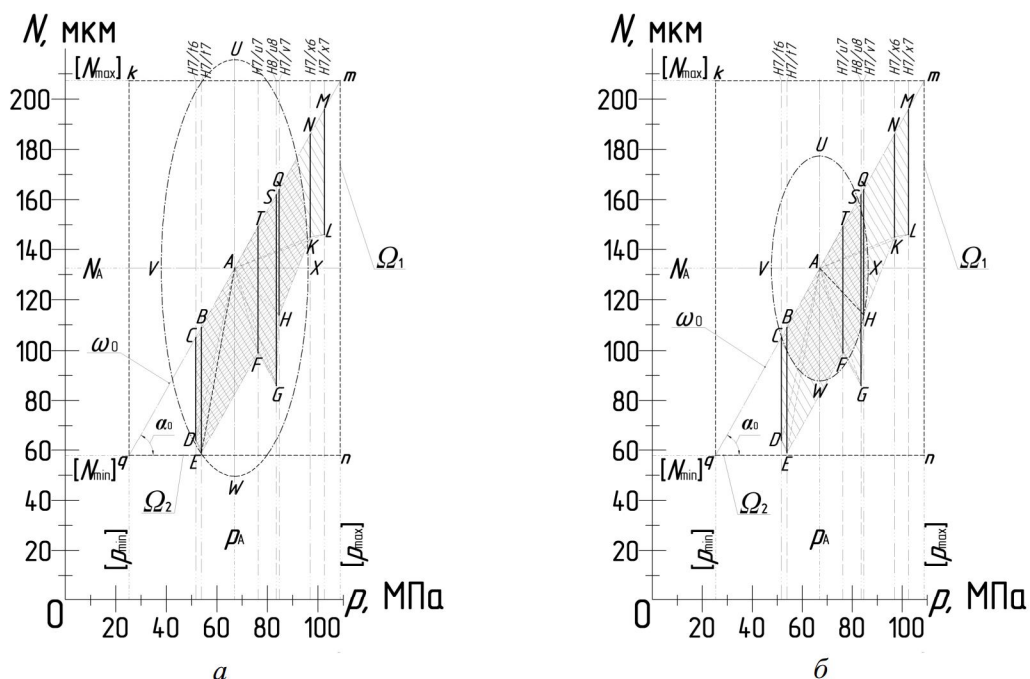


Рис. 2. Вірогідні зони еліпсоїдної форми

Дві частини еліпса (верхня і нижня, що позначені штриховою основною лінією з точками U та W відповідно) не входять до області допустимих значень, оскільки відсікаються прямими km та nq прямокутника $ktnq$. Крім того, діагональ mq розділяє навпіл еліпс, а придатні рішення слід вибирати у нижній половині урізаної локальної вірогідної зони. В означену зону повністю потрапляють посадки $H7/u7$, $H8/u8$, $H7/v7$, $H7/t7$ та $H7/t6$. Проектувальник має вибрати одне з цих п'яти рівнозначних з'єднань. Як бачимо, форма з базовим радіусом AE не гарантує прийняття єдиного проектного рішення. Якщо ж за основу прийняти найближче значення N_{\min} (точка H відрізка QH) від точки A з радіусом AH (див. рис. 2, б), то в еліпсоїдну вірогідну зону потрапляють такі посадки: $H7/u7$ – повністю (50 мкм), $H8/u8$ (45,3 мкм) та $H7/v7$ (37,25 мкм) – більшою частиною відрізків імовірнісних допусків, а $H7/t7$ – меншою (9,3 мкм). У такому випадку посадку $H7/u7$ можна вважати раціональною.

Рівняння еліпсоїдної форми вірогідної зони має такий аналітичний вигляд:

$$\Omega_{\ominus H} = \left(\left(\frac{p}{R_{\min H}} \right)^2 - \left(\frac{N}{R_{\max H}} \right)^2 \right) - \left((p - p_A)^2 + (N - N_A)^2 \right) - \sqrt{\left(\left(\frac{p}{R_{\min H}} \right)^2 - \left(\frac{N}{R_{\max H}} \right)^2 \right)^2 - \left((p - p_A)^2 + (N - N_A)^2 \right)^2}, \quad (1)$$

де p – змінна величина (аргумент функції координатної осі p), МПа;

N – змінна величина (аргумент функції координатної осі N), мкм;

p_A, N_A – дійсні координати центра симетрії (точки A) допустимих значень діапазонів питомого тиску і натягу;

$R_{\max H}$ і $R_{\min H}$ – відповідно найбільший і найменший радіуси еліпса.

Рівняння урізаної (діагоналлю mq) локальної зони еліпсоїдної форми відносно точки H має такий вигляд:

$$\Omega_{\supset H} = \Omega_{\ominus H} \wedge_0 \omega_0, \quad (2)$$

де \wedge_0 – символ R -кон'юнкції, що означає перетин множин [6].

У рівнянні (2) ω_0 – верхня границя максимальних значень натягів $N_{i\max}$ допуску стандартних посадок КМПСПЗН, яка описана у статті [3]:

$$\omega_0 = p - \frac{[p_{\max}] - [p_{\min}]}{[N_{\max}] - [N_{\min}]} N + \frac{[p_{\max}] - [p_{\min}]}{2}, \quad (3)$$

де $[p_{\min}]$ – мінімальний допустимий питомий тиск, МПа;

$[N_{\min}]$ – мінімальний допустимий натяг, мкм;

$[p_{\max}]$ – максимальний допустимий питомий тиск, МПа;

$[N_{\max}]$ – максимальний допустимий натяг, мкм.

З урахуванням формул (1) і (3) рівняння (2) остаточно набуває такого вигляду:

$$\Omega_{\supset H} = \left(\left(\frac{p}{R_{\min H}} \right)^2 - \left(\frac{N}{R_{\max H}} \right)^2 \right) - \left((p - p_A)^2 + (N - N_A)^2 \right) - \sqrt{\left(\left(\frac{p}{R_{\min H}} \right)^2 - \left(\frac{N}{R_{\max H}} \right)^2 \right)^2 - \left((p - p_A)^2 + (N - N_A)^2 \right)^2} \wedge_0 \left(p - \frac{[p_{\max}] - [p_{\min}]}{[N_{\max}] - [N_{\min}]} N + \frac{[p_{\max}] - [p_{\min}]}{2} \right). \quad (4)$$

При аналізі еліпсоїдних форм зони виникає проблема вибору величин найбільшого і найменшого радіусів еліпса. Інакше кажучи, еліпсоїдні форми вірогідної зони, як і прямокутні, не віднесені до найбільш ефективних. Форма кола в такому випадку більш прийнятна, оскільки його радіус є величиною сталою.

Якщо в множині КМПСПЗН за основу прийняти найвіддаленіше значення N_{\min} від центра симетрії у точці A (рис. 3, *а*) і описати навколо неї колову замкнену лінію радіусом $R_E = AE$, то отримаємо вірогідну зону для вибору посадки з множини КМПСПЗН. В урізану прямокутником $kmnq$ кругову вірогідну зону, частина якої входить до області допустимих значень, потрапляють сім посадок: $H7/u7$, $H8/u8$, $H7/v7$, $H7/t7$, $H7/t6$, $H7/x7$ та $H7/x6$. Вибір раціональної посадки і в цьому випадку залишається також проблемним питанням для проектувальника, тобто і такий варіант форми зони є найбільш неефективним з тих, що розглядалися раніше.

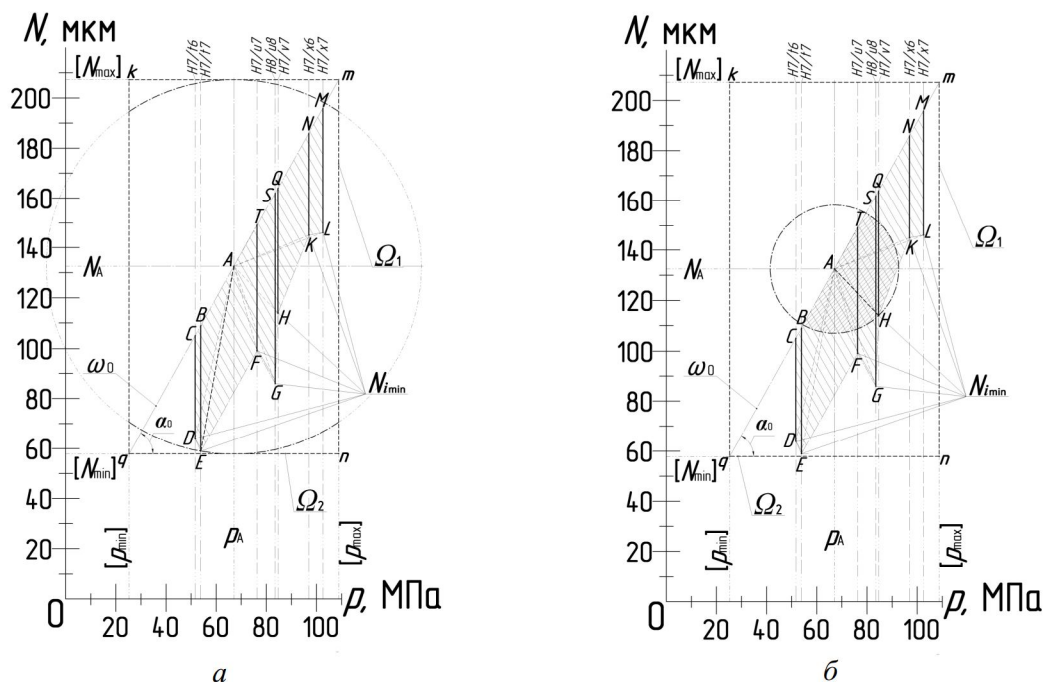


Рис. 3. Вірогідні зони кругової форми

Якщо прийняти за основу найближче значення N_{\min} (точка H відрізка QH) від точки A з радіусом $R_H = AH$ (рис. 3, *б*), то в кругову вірогідну зону потрапляють частини посадок: $H7/u7$ – більшою частиною відрізка TF імовірного допуску (40,38 мкМ), $H8/u8$ (SG) – 39,19 мкМ та $H7/v7$ (QH) – 37,19 мкМ. Отже, з'єднання $H7/u7$ можна вважати раціональним, оскільки його величина найбільша серед інших. Рівняння урізаної діагоналю mq локальної вірогідної зони кругової форми відносно точки H має вигляд формули (4) у разі однакових полуосей еліпса ($R_H = R_{\max H} = R_{\min H}$).

Висновки

У даній статті об'єктами дослідження були вірогідні зони криволінійних (еліпсоїдних і кругових) форм сукупності придатних фрикційних з'єднань з натягом. Для таких об'єктів запропоновано алгоритм аналітичного опису, оснований на застосуванні теорії R -функцій [6].

Аналіз виконаних досліджень дозволяє дійти висновку, що найефективнішою є кругова форма вірогідної зони відносно найближчого значення N_{\min} КМПСПЗН. При цьому кількість альтернативних посадок з КМПСПЗН, що потрапили в зазначену зону, суттєво зменшується, тому з'являється реальний шанс для вибору єдиного раціонального проектного рішення.

Список використаних джерел

1. 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.
2. 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.

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. – 2017. – № 2 (80). – Т. 1. – С. 73–77.

6. Метод R -функцій в задачах об изгибе и колебаниях сложной формы [Текст] / В. Л. Рвачев, Л. В. Крупа, Н. Г. Склепус, Л. А. Учишвили. – Харьков : Наукова думка, 1973. – 124 с.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2017 р.

УДК 621.8

А. П. Горбунов, В. Н. Нечипоренко, В. А. Сало, П. И. Литовченко

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ФОРМ ДОСТОВЕРНОЙ ЗОНЫ ПРИГОДНЫХ ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Предложены результаты исследования формы достоверной зоны рациональных проектных решений при автоматизированном проектировании соединений с натягом по гладкой поверхности. Для аналитического описания пространственной формы указанной зоны эффективно используется математический аппарат теории R -функций.

Ключевые слова: теория R -функций, автоматизированный расчет, посадка с натягом, фрикционное соединение, конечное множество пригодных посадок, достоверная зона.

UDC 621.8

A. P. Horbunov, V. M. Nechiporenko, V. A. Salo, P. I. Litovchenko

RESEARCH OF THE CURVILINEAR FORMS RELIABLE ZONE OF SUITABLE FRICTION COMPOUNDS

The results of the research of the form of a reliable zone of rational design solutions for the automated design of compounds with interference fit on a smooth surface are proposed. For the analytical description of the spatial form of this zone, the mathematical apparatus of the theory of R -functions is effectively used.

Keywords: theory of R -functions, automated calculation, interference fit, friction compound, a finite set of suitable fits, reliable zone.

Горбунов Андрій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника навчально-методичного центру – начальник навчального відділу Національної академії Національної гвардії України.

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.