

УДК 621.8

В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, В. А. Сало, Л. П. Іванова

## УНІВЕРСАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ВИБОРУ ПОСАДКИ З НАТЯГОМ НА ОСНОВІ НОВОГО МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ЇЇ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

*Пропонується універсальний алгоритм вибору посадок з натягом для гладких з'єднань, розроблений на основі трипараметричної геометричної моделі області їх існування.*

*Ключові слова: посадка з натягом, автоматизований розрахунок, трипараметрична область існування, мінімальний питомий тиск, максимальний граничний натяг.*

**Постановка проблеми.** У зв'язку зі зростаючими вимогами до машин і механізмів, у тому числі військової техніки та озброєння, на сучасному етапі розвитку високоавтоматизованого машинобудування виникає задача підвищення ефективності виробництва машин, їх технічного рівня і конкурентоспроможності. Немаловажну роль у вирішенні цієї актуальної задачі відіграють новітні високоєфективні технології отримання з'єднань з натягом деталей і складальних одиниць – одні з найважливіших операцій технологічного процесу складання машин, від яких залежать високі експлуатаційні властивості останніх. Крім забезпечення високої надійності і експлуатаційної довговічності з'єднань, ці операції повинні легко вбудовуватися у сучасні автоматизовані процеси виробництва. Мається на увазі, що весь цикл від їх проектування до реалізації на устаткуванні повинен здійснюватися у вигляді цифрових (безпаперових) технологій.

Слід зазначити, що в тому випадку, коли якість кінцевого продукту залежить від багатьох параметрів, значеннями яких є випадкові величини, проектування посадок з натягом є дуже складною математичною задачею. Більш того, результатом проектування при цьому можуть бути декілька варіантів проектних рішень. Вибір остаточного рішення залежить від суб'єктивних факторів – досвіду і кваліфікації проектувальника. Це означає, що остаточне проектне рішення не завжди може бути оптимальним при проектуванні посадок з натягом, навіть у разі їх автоматизованого проектування. Отже, вирішити сформульовану проблему можливо шляхом створення нових методик і програм автоматизованого проектування посадок, у яких вся сукупність допустимих проектних рішень піддається автоматичному аналізу на предмет виявлення найбільш раціонального для даних умов проектного рішення із кінцевої множини допустимих рішень. Додатковою вимогою до нових створюваних алгоритмів і програм є можливість їх легкої інтеграції в автоматизовані системи інженерних розрахунків (CAE), системи автоматизованого проектування (CAD) та управляючі програми для РТК і ГВС, які створюються у системах (CAM).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Авторами в своїх попередніх працях викладені [1], а потім удосконалені [2] методика та програма автоматизованого розрахунку і вибору раціонального проектного рішення при проектуванні посадок з натягом, які відповідають зазначеним вище вимогам. Як розвиток досліджень у статті [3] на базі розробленої методики авторами запропонований новий узагальнений метод вибору раціонального проектного рішення за трьома додатковими критеріями. Ефективність науково обґрунтованого методу показана на конкретному прикладі проектування посадки з натягом бандажа зубчастого вінця на диск маточини циліндричного колеса при термічному складанні. При цьому для визначення остаточного проектного рішення пропонувалося використовувати трипараметричну (тривимірну) об'ємну модель області існування придатних для розглянутого випадку табличних посадок. У побудові такої моделі крім двох основних параметрів посадки (питомого тиску  $p$  і натягу  $N$ ) як третій варіюваний параметр запропонована довжина  $l$  посадки.

У процесі побудови об'ємної геометричної моделі області існування посадок у статті [3] прийнято, що дискретним значенням довжини відповідають площини, нормальні до її геометричної осі, в яких розташовані точки  $A(p_A, N_A)$  групування наборів параметрів посадок (середнього питомого тиску  $p_A$  і середнього розрахункового натягу  $N_A$ ), що забезпечують посадки, найбільш раціональні для даних умов. Тоді для будь-якої табличної посадки умовою її придатності для даних умов є ступінь наближення її параметрів до параметрів точки  $A$ , тобто  $p_i \rightarrow p_A, N_i \rightarrow N_A$ .

За отриманими авторами результатами математично визначені границі області допустимих значень посадок:

– у середині прямокутника  $ktnq$  (рис., *a*), у нижній його частині – трикутнику  $tnq$  (з параметрами  $N_i$  і  $p_i$  для довжини  $l_i$ ), розташована деяка частина табличних посадок з усієї їх сукупності, яка відповідає заданим умовам експлуатації;

– у напівкруговій області  $gsh$  в околах точки  $A$  групується обмежена кількість значень допусків імовірнісних натягів табличних посадок з кінцевої множини, які з певною ймовірністю можна вважати раціональними, тобто для певного дискретного значення розрахункової довжини посадки  $l_i$  визначена плоска область існування найбільш раціональних посадок.

При побудові тривимірної геометричної моделі  $F(p, N, l)$  області існування раціональних посадок півкругова область  $gsh$  слугує твірною, яка, рухаючись вздовж координатної осі  $l$  моделі (при  $l_i \rightarrow l_{\max}$ , де  $l_{\max}$  – деяке максимальне значення довжини, обумовлене конструкцією елементів посадки [3]), формує об'ємне геометричне тіло, на поверхні якого розташовані параметри придатних посадок. Отримана траєкторія руху точки являє собою геометричну вісь моделі (рис., *a*). Як видно з рисунка, для кожного дискретного значення  $l_i$  існує певна кількість табличних (стандартних) посадок, які можуть бути вибрані як остаточне проектне рішення для даного значення посадкової довжини. Зі зменшенням  $l_i$  кількість таких посадок теж зменшується. Після досягнення мінімальної довжини  $l_{кр}$  кількість придатних стандартних посадок дорівнює нулю.

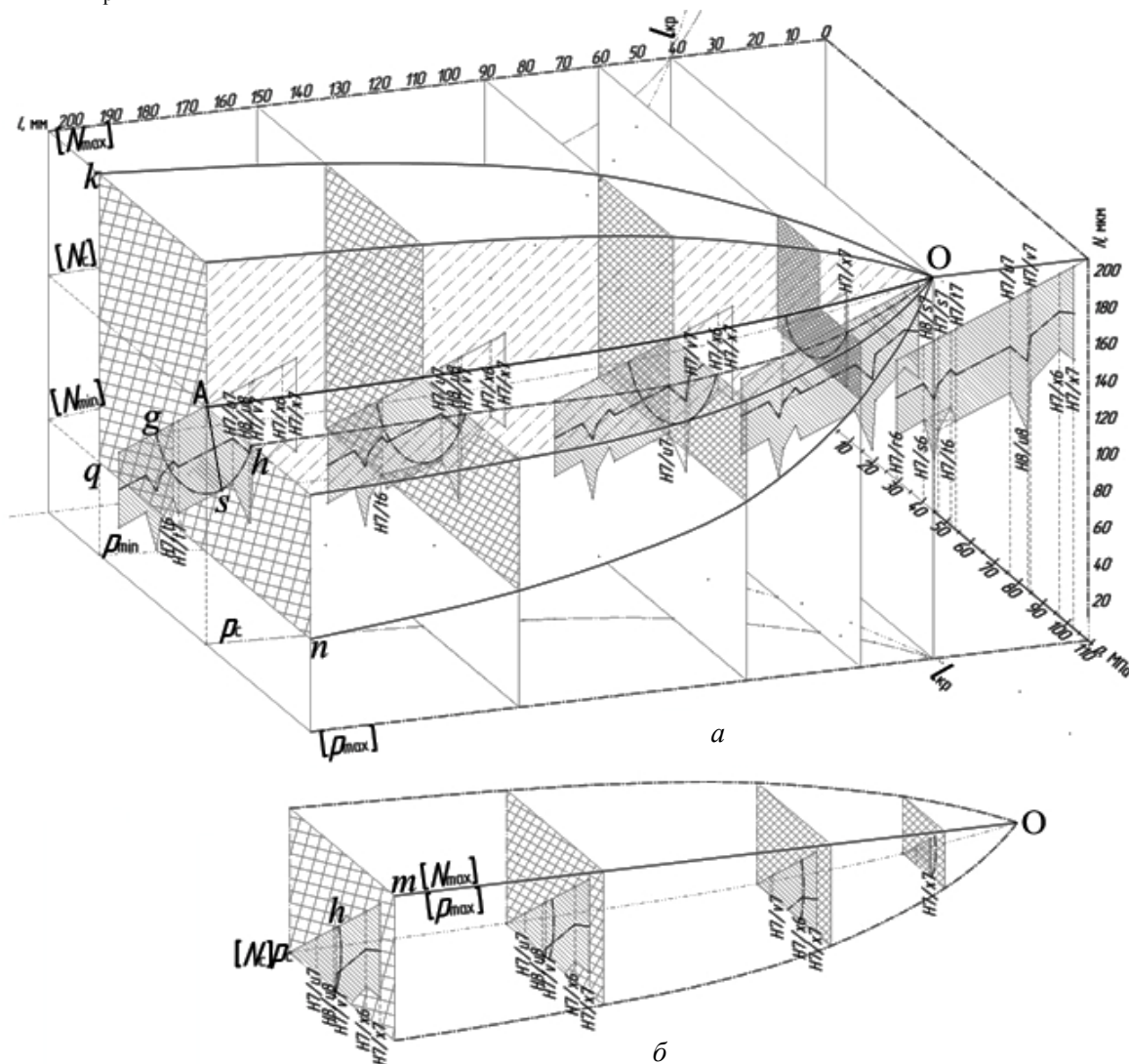


Рис. Комплексні результати дослідження бандажного з'єднання у вигляді об'ємної моделі для дискретних значень довжини

**Мета статті** полягає у створенні узагальненого алгоритму і програмних засобів вибору раціонального проектного рішення для автоматизованого розрахунку і проектування з'єднань подібного типу на основі запропонованого авторами нового науково обґрунтованого методу [3].

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до запропонованого ефективного методу [3] задача вибору остаточного проектного рішення послідовно розв'язується у два етапи: на першому етапі для певного набору вихідних параметрів посадки будується тривимірна геометрична модель області її існування; на другому етапі ведеться пошук остаточного проектного рішення у вигляді найбільш придатної табличної (стандартної) посадки всередині трипараметричної області, що обмежена поверхнею моделі.

Отже, алгоритм побудови тривимірної моделі можна представити таким чином.

1. Виконується попередній автоматизований розрахунок посадки, у якому отримується кінцева множина посадок, придатних для даних умов експлуатації і складання з'єднання.

2. Розраховується критична посадкова довжина  $l_{кр}$  як функція максимально допустимого натягу  $[N_{max}]$ , потім устанавлюється діапазон варіювання значеннями посадкової довжини у вигляді  $l_{кр} \leq l_i \leq l_{max}^k$ , де  $l_{max}^k$  – максимальна довжина, що допускається конструкцією елементів з'єднання (шириною вінця зубчастого або черв'ячного колеса, довжиною маточини тощо).

3. Для кожного дискретного значення  $l_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ), де  $k$  – кількість прийнятих дискретних значень довжини посадки у зазначеному вище діапазоні, створюється площина, в якій розташований  $i$ -й прямокутник  $ktnq$  (аналогічний зазначеному в статті [3] на рис. 2) з параметрами  $N_i$  і  $p_i$ , при цьому в отриманій послідовності прямокутників площина кожного з них монотонно збільшується зі зростанням довжини.

4. Дискретна послідовність вказаних прямокутників при  $l_i \rightarrow l_{max}^k$  створює просторове тіло пірамідальної форми з вершиною в точці  $O$  з параметрами  $l_{кр}$  і  $[N_{min}] = N_p = [N_{max}]$  (рис., б), а траєкторія вершини  $t$  кожного прямокутника утворює прямолінійне ребро, паралельне координатній осі  $l$ , тоді як траєкторії інших вершин прямокутників – криволінійні ребра, проекції яких відповідають кривим  $p_{min} = f([N_{min}])$ .

5. У кожному із зазначених прямокутників окреслюється півколо  $gsh$ ; їх послідовність під час руху вздовж координатної осі  $l$  (див. рис., б) утворює усічену оболонку обертання з тією ж вершиною  $O$ . Вказана оболонка є просторовим тілом, зрізаним в осьовому напрямку, з віссю у вигляді кривої лінії, що утворюється точкою  $A$  (центром групування) при її русі вздовж координати  $l$ .

Таким чином, у результаті проведеного чисельно-аналітичного дослідження ми отримали тривимірну модель у вигляді криволінійної чотиригранної піраміди з одним ребром, ортогональним до координатної площини  $pN$ , та вершиною в точці  $O$ , в якій мінімальні  $[N_{min}] = f(p_{min})$  та розрахункові  $N_p = f(p)$  значення дорівнюють максимальному  $[N_{max}] = f([p_{max}])$ . Важливо зазначити, що у площинах, які відповідають дискретним значенням  $l_i$  ( $l_{кр} \leq l_i \leq l_{max}^k$ ) та у яких лежить твірна трипараметричної області, спостерігається така трансформація цієї твірної:

– у випадку зростання довжини  $l$  точка  $A$  центра симетрії кожного з прямокутників  $ktnq$  разом з півколовою областю  $gsh$  для дискретного значення довжини та точки, що відповідають мінімальним значенням параметрів посадок, перемістяться по діагоналі від правого верхнього кута в бік вершини  $q$ , при цьому площина  $i$ -го прямокутника поступово збільшиться;

– у разі зменшення довжини  $l$  відбувається обернена трансформація;

– положення точок, що відповідають максимальним значенням, не зміняться, тобто вершина  $t$  кожного прямокутника  $ktnq$  відносно координатної площини  $pN$  не змінює свого положення відносно координатних осей  $p$  і  $N$ .

Траєкторія точки  $A$  (див. рис.) при її переміщенні вздовж осі  $l$  утворює криву осьову лінію, що відповідає проекціям кривих  $p_c = f([N_c])$ . Вона починається у точці  $O$  з координатами, що дорівнюють максимальним значенням допустимого натягу  $[N_{max}]$  і допустимого тиску  $[p_{max}]$  при  $l_{кр}$  (вершина  $t$  прямокутника  $ktnq$ ). Ця крива у процесі зростання довжини матиме спадний характер, асимптотично наближуючись по діагональній площині  $mq$  до координатної прямої осі  $l$ . Така форма області існування

раціональних посадок забезпечує збільшення кількості придатних табличних посадок, оскільки розширюються діапазони  $p_{\min} \dots [p_{\max}]$  та  $[N_{\min}] \dots [N_{\max}]$ .

Повертаючись до аналізу досліджуваного в роботі [3] з'єднання, зауважимо, що застосування бандажного з'єднання, коли  $l/d > 1$ , не рекомендується, тобто розрахункове значення  $l = 90$  мм в такому випадку небажане. Якщо ширину зубчастого вінця (довжину посадки) зменшити, наприклад, до значення  $l = 80$  мм, тоді більш раціонально стає посадка  $H7/v7$ , що безпосередньо впливає із подальшого аналізу координатних площин  $lp$  та  $IN$  (див. рис.). На координатній площині  $lp$  наочно видно, що дійсний питомий тиск  $p_d$  (при довжині  $l = 80$  мм) достатньо близький до проекції кривої середнього значення  $p_c$  для цієї посадки. За такого мінімального значення (в межах пружної деформації в діапазоні  $p_{\min} \dots [p_{\max}]$ ) забезпечується гарантований натяг у випадку, якщо застосовувати метод повної взаємозамінності – метод “максимуму-мінімуму”. Для довжини від 60 до 76 мм для  $H7/v7$  забезпечується посадка з натягом методом неповної взаємозамінності у порядку зростання ймовірності допуску посадки. Більш “важкі” посадки  $H7/x6$  і  $H7/x7$  у координатній площині  $IN$ , як видно з графіка (див. рис. 2 у статті [3]), зможуть забезпечити посадку з гарантованим натягом у зазначеному діапазоні значень довжини. При цьому діапазон пружних деформацій зміщується в бік більш напруженого стану і в бік збільшення температури для охоплюючої деталі (при термічному способі складання).

### **Висновки**

1. Запропоновано узагальнений універсальний алгоритм автоматизованого розрахунку і вибору параметрів посадок з натягом, який забезпечує вибір одного найбільш раціонального остаточного проектного рішення. Алгоритм містить два основних етапи: побудову тривимірної геометричної моделі області існування посадок і пошук раціонального остаточного проектного рішення у вигляді найбільш придатної стандартної посадки всередині трипараметричної області, що обмежена поверхнею моделі. Для реалізації алгоритму запропонована модернізація програми автоматизованого розрахунку і вибору посадок.

2. Доведено, що запропонована модель і розроблений на її основі ефективний алгоритм дають можливість використовувати не тільки метод повної взаємозамінності, а й неповної, що дозволить знизити вартість отриманого з'єднання.

3. Збільшення кількості параметрів посадок, за значеннями яких здійснюється остаточний вибір проектного рішення із кінцевої множини допустимих, дозволяє значною мірою формалізувати цей процес. На основі побудови трипараметричної області існування посадок з натягом можливо прийняти проектне рішення, максимально наближене до оптимального, як при використанні методу повної взаємозамінності, так і методу неповної взаємозамінності (ймовірнісному або груповому). Все зазначене значно підвищує ефективність запропонованого методу в процесі реального проектування посадок у машинобудуванні.

**Перспектива розвитку досліджень.** Продовження досліджень у даному напрямку дозволяє очікувати отримання наступних результатів:

- прогнозувати при  $n$ -параметричному ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) моделюванні області існування посадок з натягом досягнення більш ефективних результатів їх розрахунків і проектування;
- детальніше розглянути можливість застосування табличних посадок за методом неповної взаємозамінності;
- відшукати найбільш раціональні значення (діапазони значень)  $I_{\max}^k$  залежно від умов експлуатації та призначення посадки.

### **Список використаних джерел**

1. Нечипоренко, В. М. Вибір і автоматизований розрахунок раціональних посадок з натягом на основі додаткових критеріїв [Текст] / В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, Л. П. Іванова // Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України, 2012. – Вип. 2 (20). – С. 83–87.
2. Літовченко, П. І. Про підвищення ефективності і рівня формалізації автоматизованого розрахунку посадок з натягом [Текст] / П. І. Літовченко, В. М. Нечипоренко // Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України, 2011. – Вип. 2. – С. 81–87.
3. Літовченко, П. І. 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 ВВ МВС України, 2013. – Вип. 1. – С. 74–79.

*Стаття надійшла до редакції 10.06.2013 р.*