

УДК 621.8

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІАМЕТРА ПОСАДКИ З НАТЯГОМ І ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВАННЯ ОХОПЛЮВАЛЬНОЇ ДЕТАЛІ НА ЯКІСТЬ БАНДАЖНОГО З'ЄДНАННЯ

Наведено результати дослідження впливу окремих параметрів n -параметричної математичної моделі посадки з натягом, а саме діаметра і температури нагрівання охоплювальної деталі, на її якість при автоматизованому проектуванні бандажного з'єднання.

Ключові слова: посадка з натягом, бандажне з'єднання, автоматизований розрахунок, діаметр посадки, мінімальний граничний натяг, максимальний граничний натяг, січна поверхня, січна параметрична площина, температура нагрівання охоплювальної деталі.

Постановка проблеми. У наш час до військової техніки і озброєння висувують підвищені вимоги щодо їх надійності, працездатності, виживаності, бойових та експлуатаційних якостей.

Одним з головних напрямків покращення технічних і експлуатаційних характеристик бойових машин та озброєння є підвищення якості і зниження термінів технологічної підготовки виробництва на основі максимального застосування автоматизованого проектування їх вузлів і агрегатів з пошуком найбільш оптимальних варіантів проектних рішень. Кінцевою метою досліджень у цьому напрямку є створення методик, алгоритмів та програм оптимального автоматизованого проектування вузлів і агрегатів військових машин та озброєння з наступною інтеграцією розроблених засобів у системи автоматизованого проектування – CAD/CAM.

У сучасних військових машинах, пристроях і озброєнні посадки з натягом по гладкій поверхні є одним з найбільш поширених видів нероз'ємних з'єднань.

Авторами даної статті проведено комплекс досліджень, у результаті яких було створено n -параметричну математичну модель області існування посадки з натягом [1], параметрами якої є основні міцнісні, технологічні та експлуатаційні характеристики. На основі вказаної моделі розроблена програма автоматизованого розрахунку і вибору раціональних посадок з натягом [2], проведені розрахунково-аналітичні дослідження при проектуванні бандажних з'єднань [3]. За результатами проведених досліджень встановлено, що якість автоматизованого проектування посадок з натягом прямо залежить від кількості врахованих параметрів математичної моделі.

Таким чином, продовження серії досліджень з вивчення впливу окремих параметрів n -параметричної моделі на точність прийняття остаточного проектного рішення при автоматизованому проектуванні посадок з натягом є вкрай актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На попередніх етапах дослідження [1, 2, 3] при виборі раціонального проектного рішення авторами були отримані дві суміжні тривимірні моделі області існування придатних посадок із натягом у системах координат lpN і dIN із загальною проекційною координатною площиною IN (координатні осі $l \in IN$ і $N \in IN$), де як додаткові варійовані параметри пропонувалось застосувати:

- для моделі lpN – робочу довжину l (при фіксованому значенні діаметра з'єднання);
- для моделі dIN – посадковий діаметр d бандажного з'єднання.

Користуючись такими моделями, можна залежно від першочергової умови забезпечення міцності посадки підібрати більш раціональні значення її діаметра та робочої довжини для відповідної k -ї посадки ($k=1,2,3,\dots,m$, де m – кількість придатних табличних посадок, які відповідають заданим міцносним, технологічним та експлуатаційним вимогам, визначена в результаті автоматизованого розрахунку).

Таким чином, при виборі потрібної табличної посадки з натягом діаметр з'єднання d є основним аргументом для визначення функцій таких додаткових параметрів, як довжина з'єднання l , питомий тиск p у спряжених поверхнях. При цьому кінцевим результатом розрахунку є знаходження потрібного натягу N .

Урахування всіх наведених параметрів посадок необхідне і достатнє для вибору оптимального проектного рішення при створенні з'єднання механічним або гідравлічним пресуванням. Застосування вказаних засобів для посадок з термічними методами складання також можливо, але не

дає стовідсоткової точності при виборі остаточного проектного рішення, оскільки не враховує дуже важливого технологічного фактора – температури t_2 нагрівання охоплювальної деталі.

Мета статті полягає у побудові математичної моделі області існування посадки з натягом у вигляді n-параметричного комплексу просторових тривимірних моделей шляхом додавання як варійованого дискретного параметра температури t_2 нагрівання охоплювальної деталі. На основі застосування розробленої моделі і аналізу впливу робочого діаметра і температури нагрівання охоплювальної деталі на якість посадок з натягом передбачається вдосконалити методику і модернізувати програми їх автоматизованого розрахунку.

Виклад основного матеріалу. У праці [3] авторами досліджувалась бандажна посадка зубчастого вінця циліндричного колеса на основу маточини, виконана методом термічного складання. За результатами проведеного чисельно-аналітичного дослідження на основі автоматизованого розрахунку з наступним аналізом результатів отримано математичну модель області існування раціональних посадок у вигляді просторового образу (рис. 1) і його проєкції (див. рис. 2) у системі координат dIN . При цьому як додатковий варійований параметр використовувався посадковий діаметр d .

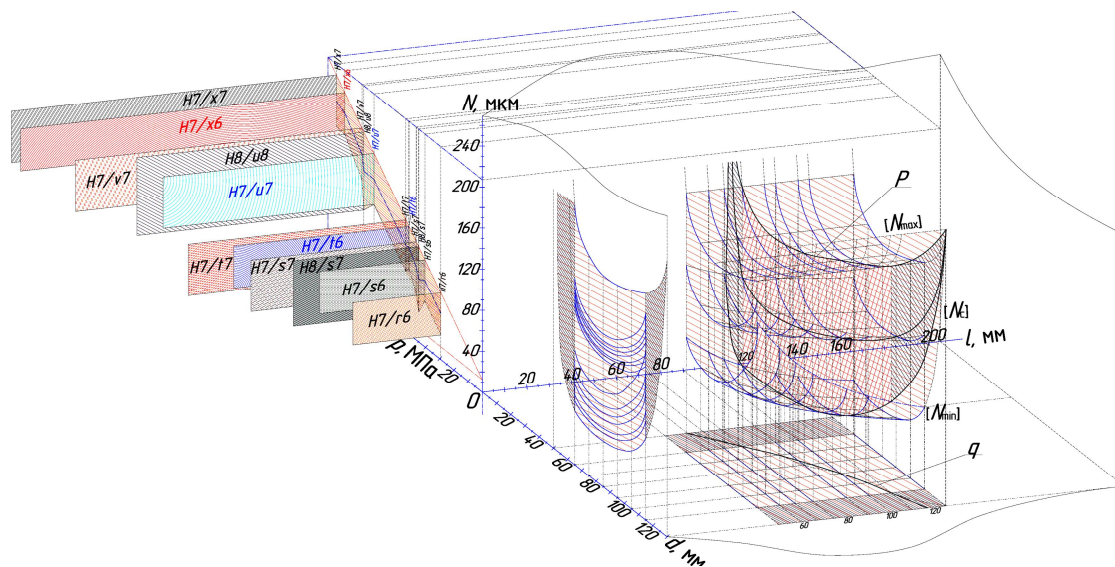


Рис. 1. Розташування січної поверхні та її проєкції в об'ємній моделі для визначення довжини при дискретних значеннях діаметра

У даній статті авторами продовжено дослідження і удосконалення тривимірної математичної моделі, що використовувалась як основа для проведення подальших досліджень. Інструментом досліджень була модернізована програма Pressing boarding автоматизованого розрахунку посадок з натягом [1, 2].

Таким чином, всі елементи базової математичної моделі зв'язані з системою координат dIN (рис. 1 і 2), а їх проєкції лежать у загальній проєкційній координатній площині dN , якій відповідають осі d і N .

Початкові дані були такі самі, як і в попередніх дослідженнях [3], у тому числі для сукупності дискретних обмежених значень:

– матриця діаметрів

$$d_j = \{51, 53, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 115, 120, 125, 127, 129\} \text{ мм};$$

– матриця температур нагрівання охоплювальної деталі, що відповідає вказаній матриці діаметрів посадки $H7/u7$

$$t_{2_s} = \left\{ \begin{array}{l} 197, 3; 190, 6; 184, 4; 170, 7; 159, 1; 165, 6; 155, 9; 147, 4; 165, 1; 157, 1; \\ 149, 9; 143, 4; 152, 1; 146, 1; 140, 6; 135, 6; 146, 9; 144, 9; 142, 9 \end{array} \right\} \text{ } ^\circ\text{C};$$

– досліджувалась таблична посадка $H7/u7$ при постійному значенні довжини посадкового з'єднання $l_i = 950$ мм.

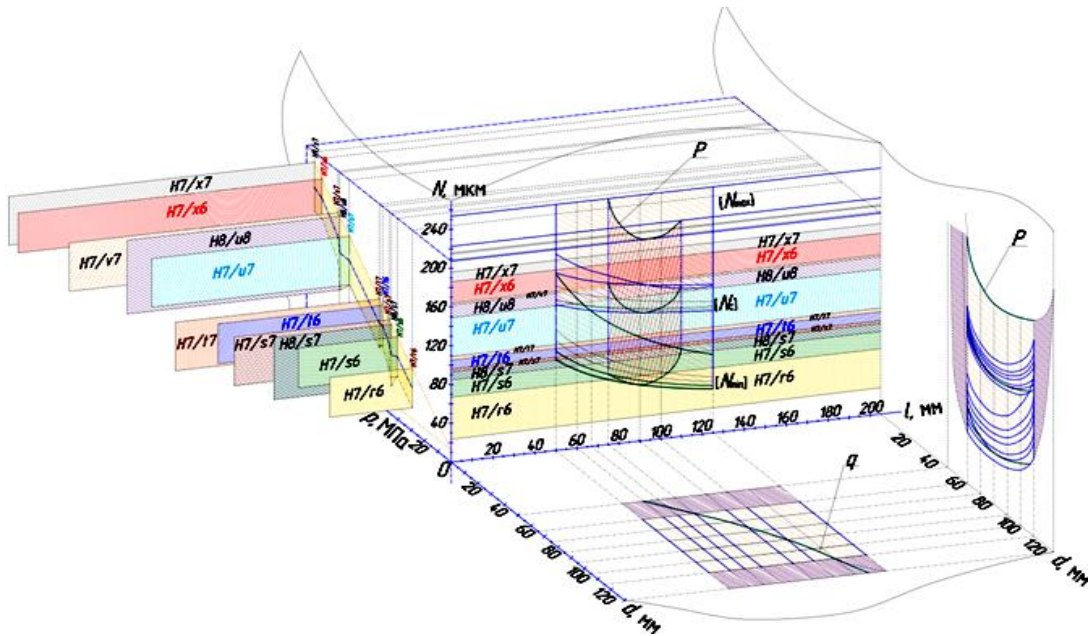


Рис. 2. Проекції об'ємної моделі на координатні площини при дискретних значеннях діаметра і довжини

У реальності для вказаного ряду діаметрів значення довжини $l_i = 950$ мм є некоректним, оскільки на порядок перевищує довжини, які застосовуються, тому з деяким наближенням вважатимемо, що для даних умов розрахунку $l_i \rightarrow \infty$. Таке значення l необхідне для побудови моделі, оскільки температура нагрівання при фіксованому значенні діаметра буде постійною, судячи з аналізу результатів розрахунку, а при змінному значенні діаметра – змінною. Крім того, слід враховувати той факт, що гранична температура нагрівання матеріалу охоплювальної сталевій деталі має відповідати умові $[t] \leq 230...240$ °С.

Для побудови модернізованої тривимірної моделі до координатної площини dN добудуємо координатну вісь t_2 (°С), тим самим утворюючи координатні площини dt_2 і t_2N з відповідними координатними осями d , t_2 і N . На основі статистичного аналізу результатів дослідження отримаємо спочатку двовимірні моделі у вигляді графіків на координатних площинах dt_2 і t_2N та готову двовимірну модель на площині dN (рис. 3).

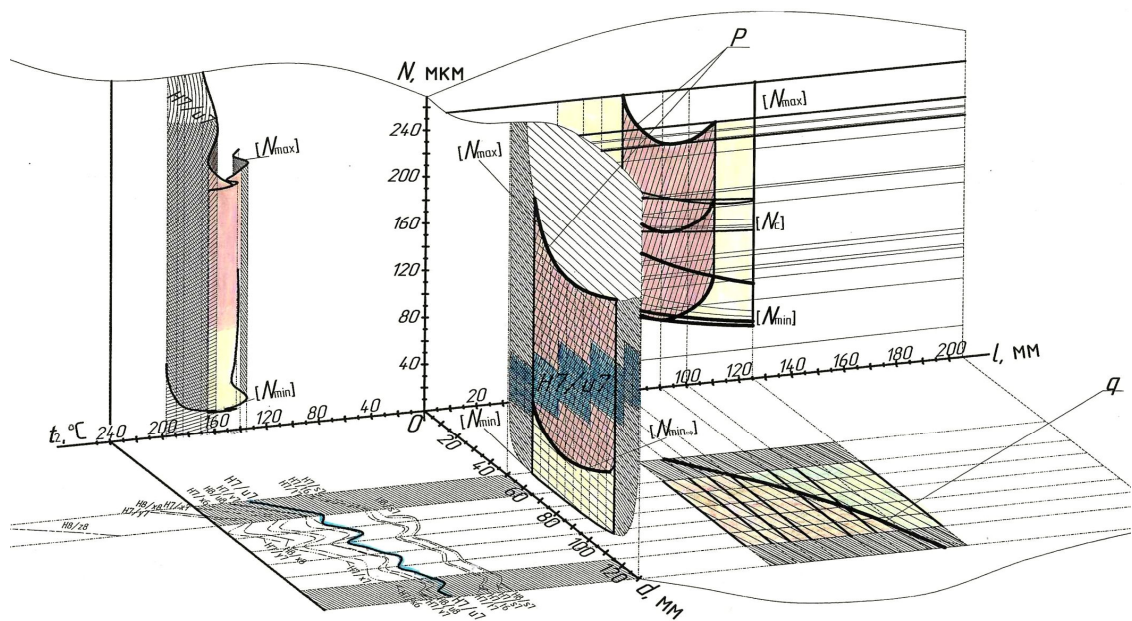


Рис. 3. Проекції тривимірної моделі на координатні площини при дискретних значеннях температури нагрівання охоплювальної деталі, діаметра і довжини з'єднання

На координатній площині dN показано обмежуючі криві лінії допустимих натягів $[N_{\min}]$ і $[N_{\max}]$ при $l_i \rightarrow \infty$ ($l_i = 950$ мм), проекція січної поверхні P , в якій крива мінімально допустимого ефективного натягу $[N_{\min_{\text{еф}}}]$ побудована залежно від рекомендованої довжини з'єднання $l = 4 \cdot d^{0.7}$ для сталевих матеріалів. Як приклад для табличної посадки $H7/u7$ показана рекомендована (ступінчаста) область значень дійсних натягів залежно від вибраного інтервалу номінальних діаметрів.

Для досліджуваної посадки $H7/u7$ на основі двовимірних моделей будують тривимірну модель в координатних осях dt_2N (рис. 4).

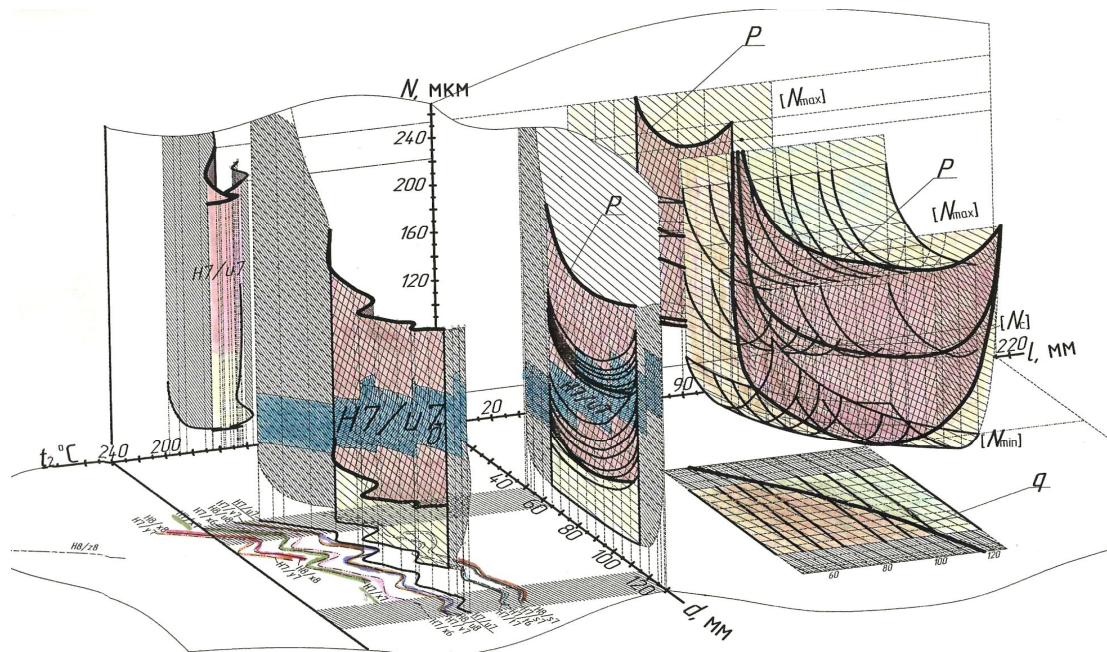


Рис. 4. Комплексні результати дослідження бандажного з'єднання у вигляді об'ємних моделей та їх проєкцій при дискретних значеннях діаметра для табличної посадки $H7/u7$

Побудована тривимірна модель використовувалась для визначення впливу значень діаметра d і температури нагрівання t_2 охоплювальної деталі на значення натягу як аргументів функції $N = f(d, t_2)$.

Аналіз графіків (див. рис. 3 і 4), отриманих в координатній площині dt_2 , показує, що кожне з них відповідає одній табличній посадці та описується функцією $d = f(t_2)$.

Вказані криві мають хвилеподібну форму і нестабільний спадний характер. Це пояснюється тим, що при поступовому збільшенні дискретних значень діаметра d_j посадки температура t_{2S} стрибкоподібно знижується. Особливо це є характерним для середніх і легких посадок, оскільки для важких посадок, наприклад для $H8/z8$, потрібні високі температури і достатньо малий діапазон значень діаметрів (реально ця посадка не підходить для заданих умов експлуатації і складання як за граничною температурою нагрівання, так і за діапазоном значень діаметрів). Довжина кривої важчої посадки впливає на форму кривої легшої посадки (наприклад, на рис. 5 від форми кривої $H8/x8$ та її "хвоста" залежить форма кривої $H7/x7$, а форма кривої $H7/x6$ залежить від форми кривої для $H7/x7$ і т. п.). Для кривих більш легких посадок діапазон значень діаметрів d_j поступово збільшується, а значення температури t_{2S} поступово зменшується).

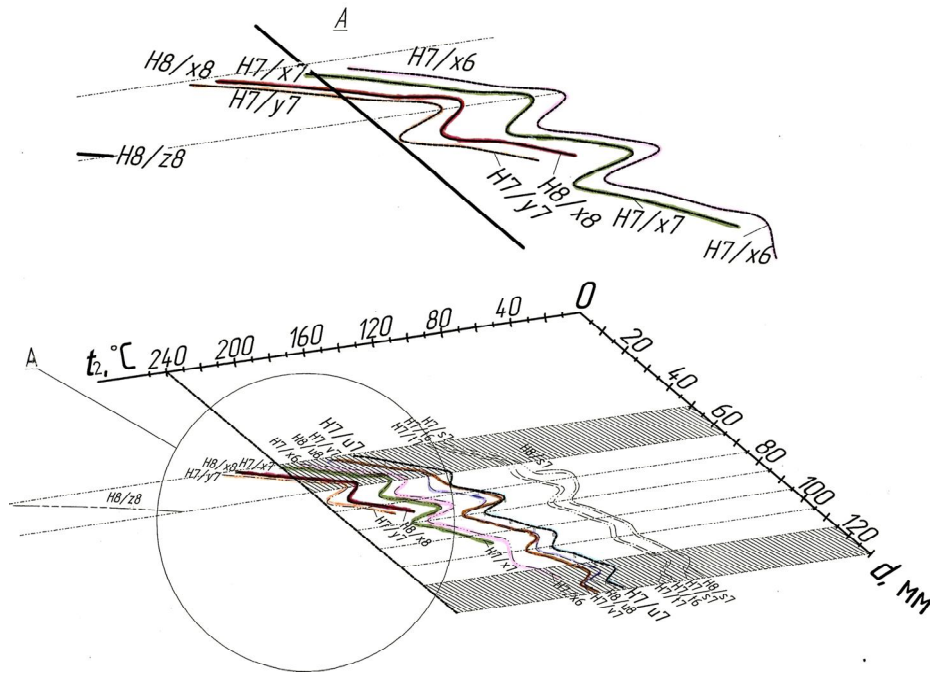


Рис. 5. Взаємний вплив температурних кривих табличних посадок на їх форму в координатній площині dt_2

У координатній площині t_2N (див. рис. 3 і 4) наведено графічну інтерпретацію діапазону допустимих значень натягу $[N_{\min}] \dots [N_{\max}]$. Справа і зліва від діапазону по координатній осі t_2 є вертикальні заштриховані зони температур нагрівання, які не рекомендовані для застосування залежно від значення d_j , тобто рекомендовано вибирати температури в середній зоні значень діаметрів посадок, витримуючи загальні обмеження $d_1 + (15 \dots 20) \leq d \leq d_2 - (15 \dots 20)$ по осі d в координатній площині dN . Побудована в координатній площині t_2N проекція моделі цілком ідентична за формою проекції в координатній площині dN , тільки більш стиснута.

Тривимірна модель (див. рис. 4) в координатних осях dt_2N є не об'ємне тіло, а набір поверхонь у вигляді “зморщених штор”, кожна з яких відповідає табличній посадці, що може бути використана для даного з'єднання. Зверху і знизу кожна з таких “штор” обмежена кривими, які відповідають значенням допустимих натягів $[N_{\min}]$ і $[N_{\max}]$ при $l_i \rightarrow \infty$ ($l_i = 950$ мм). У квадранті dIN лежать проекція січної поверхні P з кривою натягу $[N_{\min_{\text{еф}}}] = f(l = 4 \cdot d^{0.7})$ для сталевих матеріалів та рекомендована (ступінчаста) область значень дійсних натягів залежно від вибраного інтервалу номінальних діаметрів для табличної посадки $H7/u7$.

На рис. 6 показано приклад застосування двох суміжних моделей та їх координатних проекцій для табличної посадки $H7/u7$ при фіксованому значенні діаметра посадки $d = 85$ мм.

Січна параметрична площина Σd , що відповідає цим параметрам, ортогонально перетинає двовимірну модель – проекцію в координатній площині dN , та своїми торцями торкається моделі в квадранті dt_2N – з лівого боку, і в квадранті dIN – з правого, вриваючись в тіло моделі до дотикання січної поверхні P .

З лівого боку (в квадранті dt_2N) січної параметричної площини Σd , дотикаючись до тривимірної моделі ортогонально, розташована січна параметрична площина Σt із загальною лінією перетину (її висота відповідає значенню табличної посадки $H7/u7$). Іншим торцем ця площина ортогонально перетинає двовимірну модель – проекцію в координатній площині t_2N та визначає температуру охоплювальної поверхні $t_2 = 165,1$ °C.

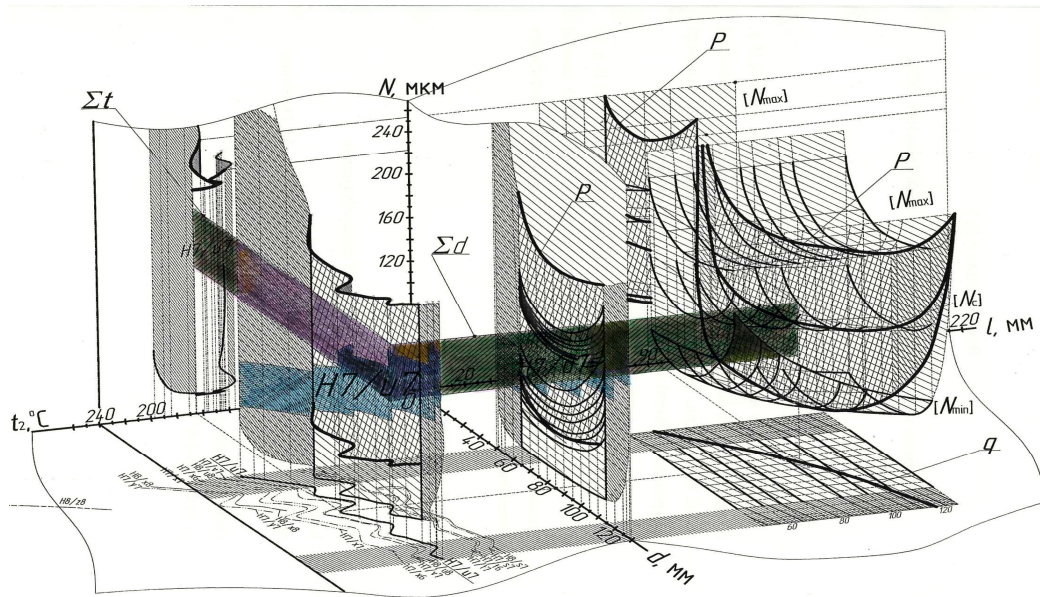


Рис. 6. Тривимірні моделі, їх проєкції та січні параметричні площини для табличної посадки $H7/u7$

Висновки

Таким чином встановлено, що при виборі раціональної табличної посадки з натягом за результатами автоматизованого розрахунку діаметр посадки d є основним аргументом функції, яка визначає залежність кінцевого параметра розрахунку – потрібного натягу N , від додаткових параметрів – температури t_2 нагрівання охоплювальної деталі, довжини l та тиску p в спряжених поверхнях. Температура t_2 при термічному способі складання не залежить від робочої довжини l .

Перспектива досліджень. Результати даного дослідження дозволяють прогнозувати при n -параметричному ($n=1, 2, 3, \dots$) моделюванні області існування посадок з натягом досягнення більш ефективних результатів автоматизованого розрахунку і проектування бандажних з'єднань.

Отримано тривимірні суміжні математичні моделі області існування раціональних посадок з натягом у системах координат, розташованих в околах координатної осі N . Застосування ортогональних січних параметричних площин, які перетинають загальні координатні площини та створюють при перетинанні з тілами суміжних тривимірних моделей замкнений контур з січних параметричних площин, дозволяє об'єктивно оцінити ефективність і раціональність прийнятого проектного рішення. Зважаючи на перспективність досліджень у цьому напрямку, передбачається продовжити їх з метою створення й дослідження сукупності тривимірних моделей шляхом дослідження впливу нових варійованих параметрів.

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. – Х. : 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. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2013. – Вип. 2. – С. 72–75.
3. Побудова n -параметричної математичної моделі раціональної посадки з натягом при її автоматизованому проектуванні для бандажних з'єднань [Текст] / В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, В. А. Сало, Л. П. Іванова // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2014. – Вип. 2. – С. 86–91.

Стаття надійшла до редакції 08.12.2015 р.