

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису
УДК 515.2

КАЛІНІНА Ірина Олександрівна

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ
ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН РАДІАЛЬНО-ОСЬОВИХ
І ОСЕРАДІАЛЬНИХ ТУРБОМАШИН**

Спеціальність 05.01.01 - Прикладна геометрія,
комп'ютерна графіка, дизайн і ергономіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ -1997

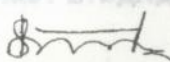


00751291 (P)

До захисту подається рукопис

Роботу виконано на кафедрі інженерної графіки Українського
державного морського технічного університетуНауковий керівник - кандидат технічних наук
доцент БОРИСЕНКО В.Д.Офіційні опоненти: доктор технічних наук
професор МОЛДАВСЬКИЙ А.А.,
кандидат технічних наук
доцент ВЛАСЮК Г.Г.

Провідна організація - НВО "Машпроект" (м. Миколаїв)

Захист відбудеться 28 жовтня 1997 року о 13⁰⁰ годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.18.06 в Київському
державному технічному університеті будівництва та архітектури за
адресою: 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31, КДТУБА.З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці КДТУБА
Автореферат розіслано 27 вересня 1997 р.Вчений секретар
спеціалізованої ради Д 01.18.06
кандидат технічних наук доцент  Плоский В.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень. Виробництво турбомашин займає значне місце у транспортному та енергетичному машинобудуванні розвинутих промислових країн. Вони знаходять широке застосування в авіації, суднобудуванні, чорній та кольоровій металургії, хімічній, газовій, нафтовій промисловості та інших галузях народного господарства.

Не дивлячись на успіхи, досягнуті у створенні турбомашин, інтерес до їх подальшого удосконалення не слабне. Підвищення вимог до техніко-економічних та масогабаритних показників ставить перед розробниками нові задачі у плані підвищення ефективності окремих елементів проточних частин. Їх вирішення можливе на базі поліпшення організації течії робочої речовини у турбомашині, що в свою чергу ставить підвищені вимоги до якості геометричного моделювання рухомих та нерухомих елементів проточних частин.

Існуючі методики профілювання окремих елементів проточних частин турбомашин часто не в повній мірі відповідають сучасним вимогам, які пред'являються до машин такого класу. Поява нових матеріалів, технологічного устаткування, наприклад п'ятикоординатних фрезерних верстатів з ЧПУ, дозволяє проектувати та виготовляти лопаточні апарати турбомашин більш складної просторової форми. Це вимагає розробки нових методів та підходів до їх профілювання.

Мета дисертаційної роботи. Розробка методів, алгоритмів та програм геометричного моделювання рухомих та нерухомих елементів проточних частин радіально-осьових та осерадіальних турбомашин, що базуються на сучасних досягненнях прикладної та обчислювальної геометрії, комп'ютерної графіки у галузі аналітичного представлення поверхонь складних технічних форм.

Для досягнення поставленої в дисертації мети необхідно розв'язати такі теоретичні та прикладні задачі геометричного моделювання:

1. Розвинути теоретичні основи геометричного моделювання кривих

ліній та поверхонь, що дозволяють враховувати локальні та інтегральні характеристики проточних частин турбомашин.

2. Розробити метод геометричного моделювання лопаточного апарату робочих колес осерадіальних турбомашин, що враховує вплив епіюр розподілу кутів відносної течії вздовж меридіональних обводів проточної частини.

3. Розробити методи геометричного моделювання меридіональних обводів та профілів лопаток на розгортці зовнішнього радіуса робочих колес радіально-осьових турбін із застосуванням алгебраїчних кривих високого порядку.

4. Розробити геометричний метод створення складових кривих на базі сегментів алгебраїчних кривих високого порядку.

5. Розробити геометричні моделі елементів статора радіально-осьових турбін, що складаються з лопаток клино- та криловидної форми, симетричного та аеродинамічного профілю.

6. Розробити алгоритми та програми геометричного моделювання елементів проточних частин осерадіальних та радіально-осьових турбомашин з візуалізацією отриманих геометричних результатів стосовно до персональних ЕОМ.

7. Впровадити результати роботи в практику проектування та створення осерадіальних та радіально-осьових турбомашин.

Методика досліджень. Розв'язання поставлених в дисертаційній роботі задач здійснюється на основі методів аналітичної, нарисної, диференціальної, обчислювальної геометрії, методів прикладного програмування та комп'ютерної графіки. Моделювання лопаток робочих колес радіально-осьових турбін здійснюється із застосуванням алгебраїчних кривих n -го порядку, моделювання робочих лопаток осерадіальних турбомашин проводиться із застосуванням методу Кунса, профілювання лопаток соплових апаратів різних типів здійснюється із використанням поліномів p 'ятого ступеня, лемніскат Бернуллі та інших кривих.

Теоретичною базою проведення досліджень були роботи:

- в галузі проектування елементів проточних частин турбомашин: Аронова Б.М., Бойка А.В., Зарянкіна А.Ю., Копалева С.З., Левенберга В.Д., Лівшиця С.П., Розенберга Г.Ш., Селезньова К.П., Холщевникова К.В., Шерстока О.М., Шубенка-Шубіна Л. О. та ін.;

- в галузі конструювання поверхонь складних технічних форм та формування їх математичних моделей: Котова І.І., Краузе Ф.Л., Михайленка В.Є., Найдіша В.М., Обухової В.С., Павлова А.В., Підгорного О.Л., Пратта М., Скидана І. А., Шенена П., Шпура Г., Фокса А., Якуніна В.І. та ін.;

- в галузі геометричного моделювання та комп'ютерної графіки: Бадаєва Ю.І., Гардана І., Грибова С.М., Ковальова С.М., Котова І.І., Михайленка В.Є., Найдіша В. М., Райана Д., Сазонова К.О., Якуніна В. І. та ін.;

- в галузі чисельних методів та їх застосування для формування математичних моделей у прикладній геометрії: Адамса Дж., Алберга Дж., Зав'ялова Ю.С., Мудрова А. Є., Роджерса Д., Фокса А.

Наукову новизну роботи складають:

1. Метод геометричного моделювання аеродинамічних обводів робочих колес радіально-осьових турбін із застосуванням алгебраїчних кривих n -го порядку.

2. Метод геометричного моделювання просторових лопаток робочих колес осерадіальних турбомашин, що відповідає заданим зміюванням диференціальних характеристик їх поверхонь.

3. Метод геометричного моделювання скелетних поверхонь лопаток робочого колеса осерадіальних турбомашин, що базується на застосуванні параметричних кубічних кривих.

4. Геометричні моделі лопаток соплових апаратів радіально-осьових турбомашин, що враховують специфічні особливості розміщення профілів у радіальних решітках.

5. Результати дослідження впливу геометричних параметрів радіально-осьових та осерадіальних турбомашин на форму аеродинамічних обводів робочих колес.

Практична цінність роботи полягає в розробці комплексу математичних моделей, алгоритмів, програм розрахунків та візуалізації результатів для розв'язання комплексу задач геометричного моделювання елементів проточних частин осерадіальних та радіально-осьових турбомашин.

На захист виносяться основні положення, які складають наукову новизну та практичну цінність роботи.

Впровадження результатів роботи здійснено за планом виконання держбюджетних науково-дослідних тем. Результати роботи передано організаціям НВО "Машпроект", АТ "Екватор", НВП "РАСКО", НВО "СОВЭНЕРГОРЕСУРС" (м. Миколаїв). Вони використовуються при проектуванні перспективних та удосконаленні існуючих зразків осерадіальних та радіально-осьових турбомашин різного цільового призначення.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу УДМТУ (м. Миколаїв, 1994, 1996), на міжнародній науково-методичній конференції "Геометричне моделювання. Інженерна та комп'ютерна графіка" (м. Львів, 1994), на науково-практичних конференціях "Сучасні проблеми геометричного моделювання" (м. Мелітополь, 1995, 1996, 1997), на 1-й міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми енергозаощадження та екології у суднобудуванні" (м. Миколаїв, 1996).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох глав, висновку, списку використаної літератури із 118 найменувань та додатка. Робота містить 93 сторінки машинописного тексту, 36 рисунків, 11 таблиць.

Основні положення дисертаційної роботи висвітлені в п'яти статтях, двох доповідях та трьох тезах доповідей.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першій главі розглянуто питання геометричного моделювання меридіональних обводів та профілів лопаток на розгортці зовнішнього радіуса робочих колес радіально-осьових турбін із застосуванням алгебраїчних кривих високого порядку.

З цієї метою розроблено метод конструювання складових кривих $\varphi(x)$ (рис.1) за допомогою сегментів алгебраїчних кривих вигляду

$$\left(\frac{\bar{x}}{a}\right)^m + \left(\frac{\bar{y}}{b}\right)^n = 1, \quad (1)$$

де m і n - показники ступенів, що визначаються або призначаються, виходячи з конкретних умов розв'язання задачі; \bar{x} , \bar{y} - координати довільної точки у косокутній системі координат, a, b - параметри.

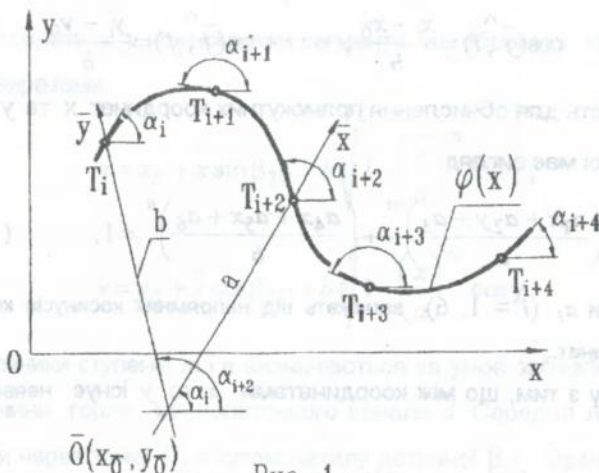


Рис. 1.

Вихідними даними для конструювання кривої є послідовність точок (x_i, y_i) та кутів нахилу α_i дотичних в декартовій системі координат. В точках стикування сегментів кривих забезпечується неперервність функції $f(x)$ та її перших похідних. Сегменти складової кривої будуються в локальній косокутній системі координат $\bar{x} \bar{O} \bar{y}$ з урахуванням кутів нахилу дотичних у крайніх точках. Зв'язок декартових і косокутних систем координат встановлюється за допомогою рівнянь переходу, що записуються в матричній формі

$$\begin{bmatrix} \cos(\hat{i}, i) & \cos(\hat{j}, i) & x_0 \\ \cos(\hat{i}, j) & \cos(\hat{j}, j) & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix},$$

де

$$\cos(\hat{i}, i) = \frac{x_{i+2} - x_0}{a}; \quad \cos(\hat{i}, j) = \frac{y_{i+2} - y_0}{a};$$

$$\cos(\hat{j}, i) = \frac{x_j - x_0}{b}; \quad \cos(\hat{j}, j) = \frac{y_j - y_0}{b}.$$

Залежність для обчислення прямокутних координат x та y довільної точки кривої має вигляд

$$\left(\frac{a_1 x + a_2 y + a_3}{a} \right)^m + \left(\frac{a_4 x + a_5 y + a_6}{b} \right)^n = 1, \quad (2)$$

де коефіцієнти a_i ($i = 1, 6$) залежать від напрямних косинусів косокутної системи координат.

В зв'язку з тим, що між координатами x та y існує неявна залежність вигляду

$$F(x, y) = 0,$$

похідна цієї функції визначається таким чином

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{\partial F}{\partial x} / \frac{\partial F}{\partial y},$$

для чисельника

$$\frac{\partial F}{\partial x} = b^n m (a_1 x + a_2 y + a_3)^{m-1} a_1 + a^m n (a_4 x + a_5 y + a_6)^{n-1} a_4,$$

для знаменника

$$\frac{\partial F}{\partial y} = b^n m (a_1 x + a_2 y + a_3)^{m-1} a_2 + a^m n (a_4 x + a_5 y + a_6)^{n-1} a_5.$$

Геометрична форма лопатки робочого колеса визначається профілем її скелетної лінії на розгортці зовнішнього радіуса (рис.2). Лінія профілю складається із прямолінійної частини $C_0 C_1$, нахиленої до диска колеса під кутом χ , та криволінійної $C_1 C_2$, що забезпечує в точці C_2 геометричний кут виходу потоку $\beta_{2\Gamma}$. Частина середньої лінії $C_1 C_2$ в координатній системі $\bar{x} \bar{O} \bar{y}$ описується дугою алгебраїчної кривої (1).

Координати x, y кожної точки сегмента алгебраїчної кривої визначаються виразами:

$$\begin{aligned} x &= x_{\bar{O}} + \bar{x} \sin \beta_{2\Gamma} - b \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{x}}{a}\right)^m} \sin \chi; \\ y &= y_{\bar{O}} + \bar{x} \cos \beta_{2\Gamma} + b \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{x}}{a}\right)^m} \cos \chi. \end{aligned} \quad (3)$$

Показники степенів m і n визначаються за умов забезпечення заданої величини горла міжлопаточного каналу d . Середня лінія профілю має пройти через точку C_3 з кутом нахилу дотичної β_{C_3} . Зрівнявши похідну в точці C_3 з тангенсом кута β_{C_3} , будемо мати систему рівнянь

$$b^n m A^{m-1} B + a^m n C^{n-1} D = 0;$$

$$n = \frac{\ln \left[1 - \left(\frac{\bar{x}_{C_3}}{a} \right)^m \right]}{\ln \left(\frac{\bar{y}_{C_3}}{b} \right)},$$

де

$$\begin{aligned} A &= a_1 x_{C_3} + a_2 y_{C_3} + a_3; & B &= a_1 + \operatorname{tg} \beta_{C_3} a_2; \\ C &= a_4 x_{C_3} + a_5 y_{C_3} + a_6; & D &= a_4 + \operatorname{tg} \beta_{C_3} a_5. \end{aligned}$$

Невідомими величинами в цій системі рівнянь є показники ступенів m і n . Система розв'язується чисельно методом ітерацій.

Для одержання тілесного профілю задаються товщинами вхідної та вихідної кромки, а також законом зміни товщини профілю вздовж його середньої лінії, яка при цьому розглядається як геометричне місце центрів кіл з радіусами, що дорівнюють половинам товщин лопатки. Координати угнутої та опуклої частин профілю визначаються за допомогою рівнянь опинаючих групи кіл.

Відігнута частина робочої лопатки створюється обкаткою профілю, який будується на розгортці циліндричної поверхні зовнішнього радіуса колеса, прямолінійними твірними. Визначниками цих поверхонь є опукла і угнута частини профілю та дві прямі, що паралельні осі робочого колеса. Використання лінійчатих поверхонь при створенні поверхонь робочої лопатки припускає її закрутку за законом $r \operatorname{tg} \beta_{2\Gamma} = \text{const}$, який поширено в практиці проектування радіально-осьових турбін.

Меридіональні обводи робочого колеса радіально-осьової турбіни описуються рівнянням, подібним рівнянню (1), але записаним відносно радіальної R та осьової B координат робочого колеса. Лінії обводу будуються в косокутних системах координат, осьові лінії яких проходять через крайні точки Π_1 та Π_2 (рис.3). В цих точках задають так звані конструктивні

кути Ψ_1 та Ψ_2 , що визначає кути нахилу дотичних і дозволяє побудувати косокутну систему координат.

За аналогією з рівняннями (3) можна записати

$$B = B_{\bar{O}_n} + \bar{R} \sin \psi_1 - b\eta \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{R}}{a}\right)^m} \cos \psi_2;$$

$$R = R_{\bar{O}_n} - \bar{R} \cos \psi_1 + b\eta \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{R}}{a}\right)^m} \sin \psi_2.$$

На відміну від моделювання середньої лінії профілю в даному випадку показники ступенів m і n задаються з вихідними даними. Зміною значень цих показників надається можливість впливати на меридіональні обводи колеса та на величини площин прохідних перерізів каналу. Епюри розподілу цих площин вздовж середньої лінії меридіонального каналу колеса дозволяють в першому наближенні прогнозувати аеродинамічну якість проточної частини.

Проведені дослідження та аналіз розподілу диференціальних та інтегральних характеристик кривих меридіональних обводів показали, що найбільш доцільними діапазонами варіювання показників m і n є такі значення: $2 \leq m \leq 4$, $2 \leq n \leq 4$.

Після одержання рівняння кривих, які описують внутрішні та зовнішні границі меридіональних обводів в декартовій системі координат, реалізовано алгоритм визначення точок, рівномірно розташованих на границі. Координати цих точок потрібні для розрахунку осесиметричної течії робочої речовини.

Середня лінія меридіонального перерізу робочого колеса була одержана шляхом вписування кіл в канал. Здобута при цьому епюра розподілу радіусів кіл вздовж середньої лінії дозволяє вже на ранніх стадіях проектування візуально оцінювати якість проточної частини.

Проведений обчислювальний експеримент підтвердив працездатність розроблених математичних моделей аеродинамічних обводів робо-

чих колес доцентрових турбін та дозволив визначити діапазони варіювання параметрів, які впливають на форму проточної частини.

У другій главі розглянуто питання геометричного моделювання просторових лопаток робочих колес осерадіальних турбомашин при довільній формі їх меридіональних обводів та заданих епіюрах кутів β відносної течії.

У зв'язку з тим, що лопатки осерадіальних турбомашин мають відносно малу товщину при значній протяжності вздовж ліній току, їх можливо уявити деякою послідовністю смуг, що з'єднуються вздовж обводів, виходячи з умов забезпечення неперервності перших похідних та кривини (рис.4). Кожна смуга поверхні обмежена чотирма кромками, довільна точка H кожної смуги в декартовій системі визначаються координатами (x, y, z) . Кожну з координат, в свою чергу, представляють функцією двох параметрів (u, v) , що змінюється у межах від 0 до 1. Таке параметричне подання смуги розглядається як аналітичне відтворення тривимірної поверхні за допомогою двовимірних кривих.

Довільну точку H смуги визначимо виразом

$$H = [(1-u)^3, 3u(1-u)^2, 3u^2(1-u), u^3] \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ T_{00} & T_{01} \\ T_{10} & T_{11} \\ R_{10} & R_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-v \\ v \end{bmatrix},$$

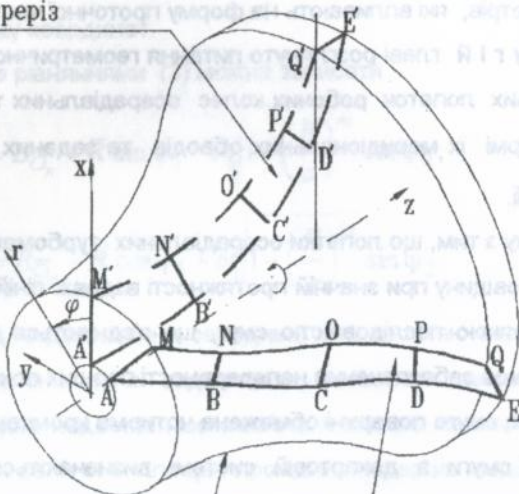
де $P_{00}, P_{01}, P_{10}, P_{11}$ - вершини смуги;

$T_{00}, T_{01}, T_{10}, T_{11}$ - точки на дотичних до вершин смуг.

Такий підхід дозволяє представити лопатку турбомашини лінійчати-ми поверхнями, що є доцільним як з точки зору їх виготовлення, так і забезпечення достатньої гнучкості, яка необхідна для досягнення оптимальної їх форми.

Визначивши похідну по параметру u при $u=0, v=0$, будемо мати

меридіональний
переріз



поверхня
обертання

скелетна
поверхня
лопатки

Рис. 4.

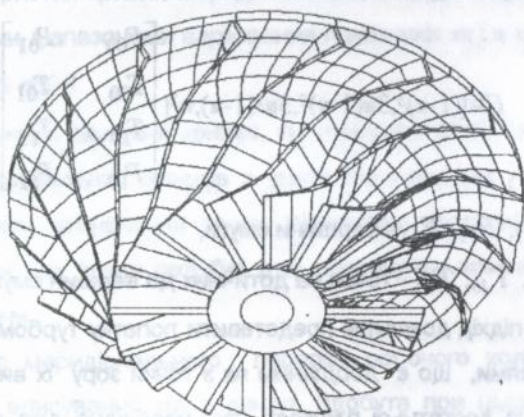


Рис. 5.

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 3(T_{00} - P_{00}).$$

Подібні вирази можна знайти для інших вершин смуги. Це дозволяє сформувати аналітичну поверхню лопатки шляхом стикування базових смуг за умов неперервності першої похідної для i та $i+1$ смуг

$$T_{00}^{i+1} + T_{10}^i = 2P_{10}^i = 2P_{00}^{i+1};$$

$$T_{01}^{i+1} + T_{11}^i = 2P_{11}^i = 2P_{01}^{i+1},$$

а також кривини

$$T_{10}^{i+1} - T_{00}^i = 2(T_{00}^{i+1} - T_{10}^i);$$

$$T_{11}^{i+1} - T_{01}^i = 2(T_{01}^{i+1} - T_{11}^i).$$

Поширивши ці умови на N смуг, отримаємо систему лінійних рівнянь, розв'язання якої дозволяє знайти положення точок T на дотичних, що проведені у вершинах смуг і тим самим описати меридіональну проекцію поверхні лопатки.

Для досягнення просторової форми поверхні лопатки додають куту координату φ , яку знаходять за таких умов

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r \frac{\partial H_{\varphi}}{\partial u}}{\sqrt{\left(\frac{\partial H_z}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_r}{\partial u}\right)^2}},$$

де β - кут відносної течії у колесі. Ці кути задаються з вихідними даними для двох меридіональних меж на підставі газодинамічних розрахунків.

Після перетворення будемо мати

$$\frac{\partial H_{\varphi}}{\partial u} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{r} \sqrt{\left(\frac{\partial H_z}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_r}{\partial u}\right)^2}.$$

Інтегрування цього виразу дозволяє визначити різницю кутових координат між вхідним та вихідним перерізами

$$H_{\varphi} = \int_{\text{вихід}}^{\text{вхід}} \frac{r g \beta}{r} \sqrt{\left(\frac{dH_r}{du}\right)^2 + \left(\frac{dH_z}{du}\right)^2} \quad (4)$$

В зв'язку з тим, що значення кутів β задаються у вершинах смуг уздовж втулки та периферії робочого колеса, при інтегруванні виразу (4) використовуються формули Ньютона-Котеса, що засновані на кусково-поліноміальній апроксимації.

Рівняння, що визначає різницю у кутових координатах ϕ між периферією та втулкою на вихідній кромці, має вигляд

$$\Delta\phi_{\text{вих}} = (1 + k_{\text{п ер}})\phi_{\text{п ер}} - (1 + k_{\text{вт}})\phi_{\text{вт}} + \Delta\phi_{\text{вт}}, \quad (5)$$

де $\phi_{\text{вт}}$ та $\phi_{\text{п ер}}$ визначаються виразом (4) для втулки та периферії. Коефіцієнти $k_{\text{п ер}}$ та $k_{\text{вт}}$ представляють собою величини, що варіюються, які забезпечують заданий розподіл кута відносної течії β .

Після перетворення рівняння (5) та введення позначень будемо мати:

$$V = v^2 + \left(\frac{\rho - v\phi_{\text{п ер}}}{\phi_{\text{п ер}}}\right)^2,$$

де $v = k_{\text{п ер}}$; $\epsilon = -k_{\text{вт}}$; $\rho = \Delta\phi_{\text{вих}} - \Delta\phi_{\text{вт}} - \phi_{\text{п ер}} - \phi_{\text{вт}}$.

Раціональний розподіл кута β можливо одержати у тому випадку, коли v та ϵ будуть дорівнювати нулю. Практично у зв'язку з наявністю кутів нахилу поверхні лопатки до радіального напрямку на вході та до осевого напрямку на виході з робочого колеса, параметри v та ϵ є відмінними від нуля. Це приводить до необхідності чисельного підбору епюр розподілу кута β уздовж втулки або периферії. Подібний процес здійснюється до тих пір, поки величини v та ϵ не досягнуть значень, близьких до нуля.

З метою автоматизації процесу підбору епюр β їх апроксимовано поліномами другого ступеню. При цьому задаються величини цих кутів у вхідному та вихідному перерізах. Варіювання епюр досягається введенням відносних параметрів $\bar{\beta}_\eta$ та \bar{S}_η , які змінюють в таких діапазонах $0 \leq \bar{\beta}_\eta \leq 1$; $0 \leq \bar{S}_\eta \leq 1$.

З метою перевірки можливості визначення раціональних епюр розподілу кутів β проведено дослідження, які показали, що у розглянутому прикладі величини ν та ϵ досягли значень, близьких до нуля, для втулки при $\bar{\beta}_\eta = 0,2$ та значеннях \bar{S}_η , що лежать у межах 0,4-0,7. Для периферійного перетину ці параметри приймають значення: $\bar{\beta}_\eta = 0,675$ та $\bar{S}_\eta = 0,7$.

Для одержання тілесного профілю лопатки розроблено алгоритм визначення товщини в довільній точці поверхні. Вихідними даними для цього є товщини вхідної та вихідної кромок у втулки та периферії, а також закони зміни товщини профілю від вхідного переріза до вихідного, які призначаються з умов задовільнення конструктивних та технологічних обмежень.

Для контролю якості отриманого робочого колеса розроблено алгоритм розрахунків координат циліндричних та радіальних перерізів лопаток, що виконуються при фіксованих значеннях радіальних та осьових координат.

Для візуалізації результатів розрахунків засобами ACAD згенеровано модель робочого колеса (рис.5).

В т р е т ь о й главі розглянуто питання геометричного моделювання профілів лопаток соплівих апаратів радіально-осьових турбомашин в умовах заданих радіальних габаритів, що визначаються радіусами на вході R_1 та виході R_2 із соплового апарату. При цьому враховуються усі особливості розташування лопаток у радіальних решітках, які пов'язані, у

першу чергу, з розрахунками геометричних кутів профілів та забезпеченням потрібного кута виходу течії $\alpha_{уст}$. Розглянуті в дисертації профілі лопаток показано на рис.6. Це профілі клинчастого, крильчастого, симетричного та аеродинамічного вигляду.

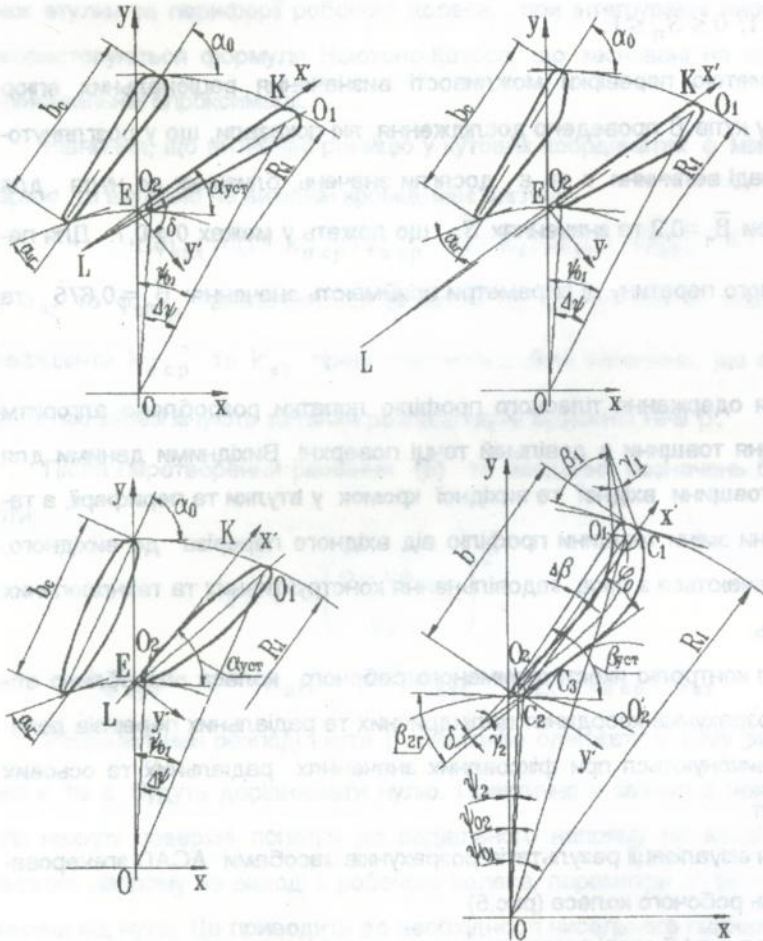


Рис. 6.

Вхідні та вихідні кромки усіх профілів описуються дугами кіл радіусів r_1 та r_2 відповідно. Сторони тиску та розрідження клинчастого профілю являють собою відрізки прямих ліній, дотичних до кіл-кромки. Основна

грудність профілювання таких лопаток пов'язаний з визначенням в ітераційному процесі центральних конструктивних кутів Ψ_{01} , Ψ_{02} та знаходженням хорди профілю, що також реалізується в ітераційному процесі.

Крильчастий профіль має складнішу геометрію, що обумовлено наявністю на стороні розрідження двох прямолінійних частин дотичних до кіл вхідної та вихідної кромки. Профілювання ведеться за умов забезпечення заданих кутів загострення профілю на вході та на виході потрібного кута виходу потоку.

Спинка та коритце симетричного профілю описуються поліномами п'ятого ступеню, що мають вигляд:

$$y = Ax^5 + Bx^4 + Cx^3 + Dx^2 + Ex + F.$$

Коефіцієнти цього поліному визначаються за умов розташування профілю в заданих радіальних габаритах. При цьому відомі радіуси кіл вхідної і вихідної кромки, кут установки $\alpha_{уст}$, а також кути загострення профілю γ_1 та γ_2 .

Дослідження поліномів п'ятого ступеню показали, що при деякому сполученні геометричних параметрів симетричного профілю спостерігався перетин кривої, що є недоцільним з точки зору аеродинаміки. Перетин кривої обумовлено вибором кутів γ_1 та γ_2 . Тому їх значення уточнювались за допомогою спеціально розробленого алгоритму. Розв'язувалась задача мінімізації функціоналу

$$\int_0^s k^2 ds \rightarrow \min$$

за умови, що друга похідна кривої $\frac{dp^2}{dx^2} \leq 0$,

де $k = \frac{y''}{(1+y')^{3/2}}$; $\rho = \frac{1}{k}$; s - довжина дуги кривої.

Кути загострення γ_1 та γ_2 використовуються в якості незалежних параметрів.

Аеродинамічний профіль будується за допомогою zdeформованої лемніскати Бернуллі, рівняння якої має вигляд

$$\rho = e^{m\sqrt{\cos(n\phi) - \operatorname{ctg}(\pi - \phi_1) \sin(n\phi)}},$$

де e , m , n - параметри лемніскати, ϕ_1 - кут, що залежить від кутів входу потоку, загострення профілю та ін.

Якщо параметр e визначає розміри профілю, то параметри m , n та ϕ_1 впливають на кути нахилу дотичних в початковій та кінцевій точках zdeформованої лемніскати і таким чином дозволяють будувати профілі в широкому діапазоні варіювання кутів входу і виходу потоку. Знаходження всіх необхідних параметрів для конструювання спинки та коритця профілю здійснюється в ітераційному процесі.

Для всіх розглянутих профілів розроблено алгоритми визначення координат їх обводів, обчислення товщин профілів та кутів нахилу дотичних в знайдених точках. Всі ці дані необхідні для виготовлення лопаток та проведення аеродинамічних розрахунків.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розробці геометричних методів моделювання елементів проточних частин радіально-осьових та осе-радіальних турбомашин. У зв'язку з цим були одержані такі наукові та практичні результати:

1. Розроблено метод геометричного моделювання робочого колеса радіально-осьової турбінної ступені на базі алгебраїчної кривої n -го порядку, який є більш універсальним у порівнянні з відомими. Метод дозволяє у широких межах варіювати значення геометричних параметрів робочого

колеса та обчислювати їх з високою мірою точності, яка необхідна при розрахунках просторового потоку робочої речовини.

2. Розроблено метод моделювання просторових лопаток ротора осерадіальних турбомашин, що базується на ідеях опису поверхонь, запропонованих Кунсом, та раціональному виборі вектор-функцій змішування, який дозволяє описати профіль лопатки (скелетний, усмокування та напінання) лінійчатыми поверхнями. Методика дозволяє задавати товщину лопатки у будь-якій точці, враховуючи конструктивні та міцнісні вимоги.

3. Розроблено методи моделювання лопаток соглових апаратів різних типів (клинчастих, крильчастих, симетричних та аеродинамічних) із використанням поліномів п'ятого ступеню, лемніскат Бернуллі та інших кривих, що дозволяють визначати їх геометричні характеристики, враховуючи особливості, пов'язані з розміщенням у радіальних решітках.

4. Розроблено алгоритми, які реалізовано на алгоритмічній мові Фортран-77, стосовно до персональних ЕОМ, що дозволяють проводити дослідження з метою вибору оптимальних рішень у діалоговому режимі, та можуть бути використані як окремі модулі у системі автоматизованого проектування.

5. Обчислювальні експерименти підтвердили працездатність математичних моделей та дозволили визначити діапазони варіювання деяких геометричних характеристик робочого колеса доцентрових турбін. В розрахунках вихідними даними були параметри робочого колеса реально існуючих турбомашин, зокрема турбіни агрегата наддування ДВГ ТКР-11, та інших.

6. Впровадження результатів досліджень, які проводились в плані виконання договорів творчого співробітництва з НВО "Машпроект", АТ "Екватор", НВП "РАСКО", НВО "СОВЭНЕРГОРЕСУРС" (м.Миколаїв), шляхом застосування алгоритмів, програм розрахунку та профілювання

елементів проточних частин радіально-осьових та осерадіальних турбомашин, підтвердило практичну цінність наукових розробок.

Основні положення дисертації опубліковано в роботах:

1. Борисенко В.Д., Бидниченко Е.Г., Калинина И.А. Геометрическое моделирование турбомашин // Тези міжнародної науково-методичної конференції "Геометричне моделювання. Інженерна та комп'ютерна графіка". - Львів, 1994. - С.49 -50.

2. Борисенко В.Д., Бидниченко Е.Г., Калинина И.А. Профилирование отбиаемой части лопатки рабочего колеса осерадиальной турбомашины // Прикладная геометрия и инженерная графика. К.: КГТУСА, 1994, Вып.57. - С.70-72.

3. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Автоматизированное проектирование лопаток рабочих колес осерадиальных турбомашин // Тезисы докладов 1-й международной научно-практической конференции "Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении".- Николаев: УГМТУ, 1996. - С.60-61.

4. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Алгоритм аналитического представления обводов проточных частей осерадиальных турбомашин // Сборник трудов международной научно-практической конференции "Современные проблемы геометрического моделирования". - Мелитополь: ТГАТА, 1996. - С.152-153.

5. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Геометрическое моделирование рабочих лопаток осерадиальных турбомашин в системах автоматизированного проектирования // Новые информационные технологии. Сб. науч. тр.- Николаев: УГМТУ, 1997. - С.39-40.

6. Борисенко В.Д., Калинина И.А. К вопросу моделирования скелетной поверхности рабочих лопаток осерадиальных турбомашин // Сборник трудов международной научно-практической конференции "Современные

проблемы геометрического моделирования". - Мелитополь: ТГАТА, 1997.- С.

7. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Конструирование составных кривых с использованием дуг суперэллипсов // Тезисы докладов международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию начертательной геометрии "Современные проблемы геометрического моделирования". - Мелитополь: ТГАТА, 1995.- С.250-251.

8. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Моделирование рабочих лопаток осерадиальных турбомашин // Прикладная геометрия и инженерная графика. К.: КГТУСА, 1996, Вып.59.- С.89-92.

9. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Профилирование лопаток рабочих колес центробежных турбинных ступеней // Судовые энергетические установки. Сб. науч. тр.- Николаев: НКИ, 1993.- С.97-104.

10. Борисенко В.Д., Калинина И.А. Профилирование меридиональных обводов рабочего колеса центробежной турбины // Судовые энергетические установки. Сб. науч. тр.- Николаев: НКИ, 1993.- С.104-109.

434681

Калинина Ирина Александровна

Исследование элементов проточных частей радиально-осевых и осерадиальных турбомашин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 - "Прикладная геометрия, компьютерная графика, дизайн и эргономика". Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры. Киев, 1997.

Диссертационная работа посвящена разработке теоретических и прикладных вопросов геометрического моделирования подвижных и неподвижных элементов проточных частей радиально-осевых и осерадиальных турбомашин. Моделирование лопаток рабочих колес радиально-осевых турбин осуществляется с применением алгебраических кривых n -го порядка, моделирование лопаток осерадиальных турбомашин проводится с применением подходов, предложенных Кунсом, профилирование лопаток сопловых аппаратов различных типов осуществляется с использованием полиномов пятой степени, лемнискат Бернулли и других кривых. Все разработанные методы предоставляют проектировщику возможность варьировать в широких пределах геометрические параметры проточных частей турбомашин с целью выбора оптимальных решений.

Ключові слова: турбомашина радіально-осьова та осерадіальна, геометричне моделювання, варіювання геометричних параметрів.

Kalinina I.A. Geometrical simulation of the elements of duct components of radial-axial and mixed-flow turbines. The thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in speciality 05.01.01. - Applied geometry, computer graphics, design and ergonomics. Kyiv State Technical University of Building and Architecture. Kyiv, 1997.

The thesis is dedicated to the development of theoretical and applied problems of geometrical simulation of the duct components of rotor and stator of radial-axial and mixed-flow turbines. The blades of working wheels of radial-axial turbines are modelled with the help of algebraical curves of n -th order. Working blades of mixed-flow turbines are modelled with the help of the ways offered by Coons. Nozzle apparatus's blades are profiled by applying of 5-th degree polynomials, Bernoulli's lemniscate and other curves. All the developed methods will enable a designer to vary with geometrical parameters of turbines' duct components in wide range for selecting the optimized solutions.