



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **68220**

(13) **U**

(51) МПК

F01D 5/14 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2011 07192	(72) Винахідник(и):	Борисенко Валерій Дмитрович (UA), Котляр Дмитро Володимирович (UA), Устенко Сергій Анатолійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	06.06.2011	(73) Власник(и):	НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА, пр. Героїв Сталінграду, 9, м. Миколаїв, 54025 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	26.03.2012		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	26.03.2012, Бюл.№ 6		

(54) ЛОПАТКА ОСЬОВОЇ ТУРБОМАШИНИ

(57) Реферат:

Лопатка осьової турбомашини містить обводи спинки і коритця, які виконані у вигляді апроксимуючих поверхонь. Координати вузлових вершин характеристичних багатогранників поверхонь обводів спинки і коритця лопатки визначені на кожному характерному перерізі лопатки формалізованим графічним способом знаходження координат точок параболічної кривої, що обумовлена заданими геометричними параметрами профілю, які є вихідними даними термогазодинамічного розрахунку потоку проточної частини ступеня на відповідному її характерному перерізі.

UA 68220 U

Корисна модель належить до галузі турбобудування і може бути використана в конструкціях лопаток робочих коліс і соплових апаратів осьових газових турбін різного призначення, наприклад, у електроенергетичних, нафто- та газотранспортних турбоагрегатах.

Відомо про лопатки осьових турбін, обводи профілів яких побудовані кривими Безьє, що базуються на застосуванні двох кривих Безьє третього порядку зі стикуванням їх у точці горлового перерізу решітки, при побудові спинки, та однієї кривої Безьє, якою описується обвід коритця профілю лопатки, термін спинка належить до обводу лопатки (профілю) зі сторони розрідження потоку, а коритце - зі сторони його тиску [1]: Pritchard, L. J., 1985, "An Eleven Parameter Axial Turbine Airfoil Geometry Model", ASME Paper No. 85-GT-219. Конттури профілів, що виконані різноманітними кривими, по різному впливають на економічність турбіни, а також її технологічність та міцність. Навіть використовуючи засоби автоматизованого проектування утворення поверхні робочої частини лопатки різноманітними кривими відбивається і на часі розробки конструкції лопаток, і, як наслідок, фактичній вартості кожного комплексу лопаткового апарату турбіни.

Найбільш близькою за технічною суттю до лопатки, що пропонується, є конструкція, коли лопатка утворена з профілів, що складаються з кромки та криволінійних обводів спинки і коритця, які сформовані графічно побудованими параболічними кривими [2]: Абианц В.Х. Теория газовых турбин реактивных двигателей. - М.: Машиностроение, 1973. - С.189-191. При визначених співвідношеннях конструктивних параметрів побудова контурів створюється швидко, а побудоване перо лопатки задовольняє вимогам газової динаміки та міцності.

При проектуванні конструкції лопаток першого та другого аналогів проектант стикається з наступними проблемами:

1) поява ділянок обводів з великим градієнтом кривини профілю, особливо у профілях із значним кутом вигину середньої лінії профілю;

2) діапазон параметрів, в межах якого можна за допомогою графічно побудованих параболічних кривих побудувати контури профілів, що задовольняють вимогам газової динаміки і міцності, не охоплює всіх практично важливих значень, особливо характерних для великих градієнтів кривин контурів спинки і коритця, що важливо при проектуванні високотемпературних високонавантажених турбін;

3) дуже складно побудувати профілі перетинів пера лопатки в єдиній узгодженості між собою (наслідок другого пункту);

4) контури профілів у багатьох випадках будуються лише при відмові від оптимальних значень параметрів, при яких досягаються мінімальні втрати енергії, тобто має місце недобір ККД на рівні турбіни (наслідок попередніх пунктів).

Ставиться задача удосконалення лопатки осьової турбомашини, за рахунок розширення області надійної побудови профілів лопаток турбін, що понизить втрати енергії у вінцях лопаток і, отже, підвищить ККД турбін та двигуна в цілому, при цьому скоротивши час профілізації та моделювання лопаток.

Поставлена задача вирішується тим, що конструкція лопатки осьової турбомашини, обводи спинки і коритця якої спроектовані раціональними поверхнями Безьє, згідно з пропозицією координати вузлових вершин характеристичних багатогранників поверхонь обводів спинки і коритця лопатки визначені на кожному характерному перерізі лопатки формалізованим графічним способом знаходження координат точок параболічної кривої, що обумовлена заданими геометричними параметрами профілю, які є вихідними даними термогазодинамічного розрахунку потоку проточної частини ступеня на відповідному її характерному перерізі, а за координатами визначених вузлових вершин остаточна форма обводів лопатки змодельована поверхнями Безьє, кожна просторова точка якої визначається виразами:

$$x(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m x_{i,j} R_{i,j}(u, v, \omega),$$

$$y(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m y_{i,j} R_{i,j}(u, v, \omega),$$

$$z(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m z_{i,j} R_{i,j}(u, v, \omega),$$

де $x_{i,j}$, $y_{i,j}$, $z_{i,j}$ - координати вершин відповідного характеристичного багатогранника, $R_{i,j}(u, v, \omega)$ - раціональна складова, що визначається наступним виразом:

$$R_{i,j}(f(u,v,\omega)) = \frac{J_{i,n}(u)K_{j,m}(v) \cdot \omega_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m J_{i,j}(u)K_{j,m}(v) \cdot \omega_{i,j}}, \quad i \in [0,n], \quad j \in [0,m], \quad u,v \in [0..1]$$

Вирази $J_{i,n}(u) = \left(\frac{n}{i}\right) u^i (1-u)^{n-i}$; $K_{j,m}(v) = \left(\frac{m}{j}\right) v^j (1-v)^{m-j}$ - система базисних функцій Бернштейна,

біноміальні коефіцієнти $\left(\frac{n}{i}\right) = \frac{n!}{i!(n-i)!}$, $\frac{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!}$ u, v - параметри побудови фрагментів поверхні

Безьє, $\omega_{i,j}$ - вагові коефіцієнти вершин, n - кількість вершин характеристичного багатогранника

у напрямку u , m - кількість вершин характеристичного багатогранника у напрямку v (Фіг.2).

Зіставлений аналіз з прототипом показує, що лопатка, яка заявляється, відрізняється тим, що у побудові її конструкції пропонується визначати положення координат вузлових вершин багатогранників поверхонь Безьє, якими утворена лопатка, за допомогою формалізованого графічного способу побудови точок параболи, що надає можливість обумовлено, в залежності від газодинаміки потоку турбіни, визначати форму поверхонь Безьє, на відміну від запропонованої у прототипі конструкції пера лопатки утвореної інтерполяцією профілів побудованих параболічними кривими.

Порівняння технічного рівня лопатки, що заявляється, з прототипом виявило у них ознаки, які відрізняють технічне рішення від прототипу і невідомі з опублікованої літератури, що дає змогу зробити висновок про відповідність критерію новизна.

На Фіг.1 зображено профіль лопатки турбіни, побудований заявленим графічним методом вибору вузлових точок апроксимуючої ламаної характеристичного багатогранника на характерному перерізі пера лопатки.

На Фіг.2 представлено лопатку, яка утворена чотирма раціональними поверхнями Безьє: дві поверхні кромки вхідна 1 і вихідна 2, що у класичному уявленні є кінчними поверхнями, та поверхнями спинки 3 і коритця 4, побудованих запропонованим способом. Також на Фіг.2 представлено багатогранник поверхні спинки лопатки, що утворений набором апроксимуючих ламаних на характерних її перерізах.

Згідно з Фіг.1, 2 маємо такі позначення: β_1, β_2 - кути входу та виходу потоку; γ_1, γ_2 - кути загострення вхідної і вихідної кромки; β_v - кут установки профілю; t - крок решітки; B - осьова протяжність решітки; точки C_1 та C_2 відповідно вузли стикування спинки з передньою та задньою кромками профілю; точки K_1 та K_2 відповідно вузли стикування коритця з передньою та задньою кромками профілю; вершина A є точкою перетину ліній l, d , дотичних до першої та кінцевої вузлових точок спинки (коритця) профілю. Точки 1, 2, 3, ... є допоміжними вузлами, що належать прямій l , а точки 1', 2', 3', ... - прямій d . E - довільний вузол апроксимуючої ламаної на характерному перерізі спинки (коритця) лопатки; P_i - кореговане положення відповідного довільного вузла апроксимуючої ламаної спинки (коритця) лопатки; n - кількість вузлових точок характеристичного багатогранника Безьє на характерному перерізі; $r=n-2$ - кількість точок поділу кожної з дотичних l, d .

Конструкція обводів спинки і коритця лопаток осьових турбомашин поверхнями Безьє реалізується наступним чином.

Спинка та коритце лопатки утворюється поверхнями Безьє, що формуються на базі відповідних багатогранників, вузлові вершини $B_{i,j}$ яких визначаються положенням вузлових точок ламаних на характерних перерізах лопатки (Фіг.2). Їх положення визначається наступним чином.

Спинка обводу характерного перерізу, далі по тексту - профілю, має пройти через точки C_1 і C_2 з кутами нахилу дотичних l, d , які визначаються на підставі заданих кутів входу і виходу потоку β_1, β_2 та кутів загострення вхідної і вихідної кромки γ_1, γ_2 . Розбиваючи відрізки C_1A та AC_2 на рівну кількість рівнозначних ділянок отримуємо відповідні точки 1, 2, ..., 5 та 1', 2', ..., 5' (Фіг.1) і т.д. кількість точок поділу r рекомендується задавати від 4 до 10 залежно від величини вигину середньої лінії профілю $\Theta = \beta_1 + \beta_2$: при Θ рівним до 45° , r рекомендовано приймати 4; при Θ , що має значення від 45° до 55° , $r = 5$; в діапазоні Θ від 55° до 65° , $r = 6$; далі з кожним збільшенням кута Θ на 10° рекомендується збільшувати кількість вузлових точок багатокутника на одну. Положення першої вузлової точки обводу спинки профілю визначається положенням точки C_1 , другої вузлової точки - на перетині відрізка C_1A з відрізком $11'$, третьої визначається на перетині послідовно побудованих відрізків $11', 22'$ і т.д. Точка $n-1$ визначається на перетині pp' з AC_2 . Кінцева вузлова точка визначається положенням C_2 , точки стику кривої спинки обводу із задньою кромкою. Отримані вузлові точки визначають положення вузлів відповідної ламаної обводу спинки профілю.

На профілях з відносно великою кривиною середньої лінії профілю великий порядок кривої, що наближує форму обводу профілю до параболічної кривої, сприяє утворенню ділянок обводів з різкою зміною кривини, тому метод був доповнений коефіцієнтом корегування Q , який дозволив зміщувати положення внутрішніх вузлових точок E_i (ті, які знаходяться між початковою та кінцевою вузловими точками) у напрямку променів AE_i , опущених з вершини A . Остаточні положення вузлових точок на характерних перерізах лопатки, з урахуванням коефіцієнту корегування, визначаються за наступними виразами:

$$X_{Pi} = \frac{X_{Ei} + Q \cdot X_{Ai}}{1 + Q}, \quad Y_{Pi} = \frac{Y_{Ei} + Q \cdot Y_{Ai}}{1 + Q} \quad i \in [0, n],$$

де значення Q рекомендовано приймати у діапазоні від -0.1 до 0.01 , залежно від кривини середньої лінії профілю та типу обводу: додатні значення використовують для контуру коритця, від'ємні - спинки; граничні положення запропонованого діапазону прийнято брати при значному вигині середньої лінії профілю; X_{Ei} , Y_{Ei} - координати вузлових точок, визначених заявленим методом; X_{Ai} , Y_{Ai} - координати точки перетину відповідних дотичних до вхідної та вихідної кромки у точках стикування їх з обводами спинки C_1, C_2 .

Аналогічним способом визначаються вузлові точки ламаних профілів коритця лопатки. Визначивши вузлові точки на характерних перерізах лопатки отримуємо вершини багатогранників поверхонь спинки та коритця пера лопатки.

Дана корисна модель дозволить проектувати лопатки, геометричні параметри профільної частини яких належать ширшій області поєднань параметрів, унаслідок чого розширюються межі можливих рішень при газодинамічному проектуванні турбін, а отже, і газотурбінного двигуна в цілому.

Економічний ефект від впровадження пропонованої конструкції лопатки обумовлений зниженням втрат енергії у турбоагрегатах, завдяки більш точному відтворенню лопатковими апаратами ефективної просторової структури потоку, яку не можливо створити використовуючи конструкції прототипів, обводи поверхонь яких утворені профілями, що побудовані набором фрагментів квадратичних або кубічних кривих.

Суспільна користь технічного рішення, що заявляється, полягає у підвищенні корисної потужності та економічності турбодвигунів, які досить широко використовуються у різноманітних галузях енергетичного, транспортного та військового господарства.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Лопатка осьової турбомашини, що містить обводи спинки і коритця, які виконані у вигляді апроксимуючих поверхонь, яка **відрізняється** тим, що координати вузлових вершин характеристичних багатогранників поверхонь обводів спинки і коритця лопатки визначені на кожному характерному перерізі лопатки формалізованим графічним способом знаходження координат точок параболічної кривої, що обумовлена заданими геометричними параметрами профілю, які є вихідними даними термогазодинамічного розрахунку потоку проточної частини ступеня на відповідному її характерному перерізі, а за координатами визначених вузлових вершин остаточна форма обводів лопатки змодельована поверхнями Безьє, кожна точка якої визначається виразами:

$$x(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m x_{i,j} R_{i,j}(u, v, \omega),$$

$$y(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m y_{i,j} R_{i,j}(u, v, \omega),$$

$$z(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m z_{i,j} R_{i,j}(u, v, \omega),$$

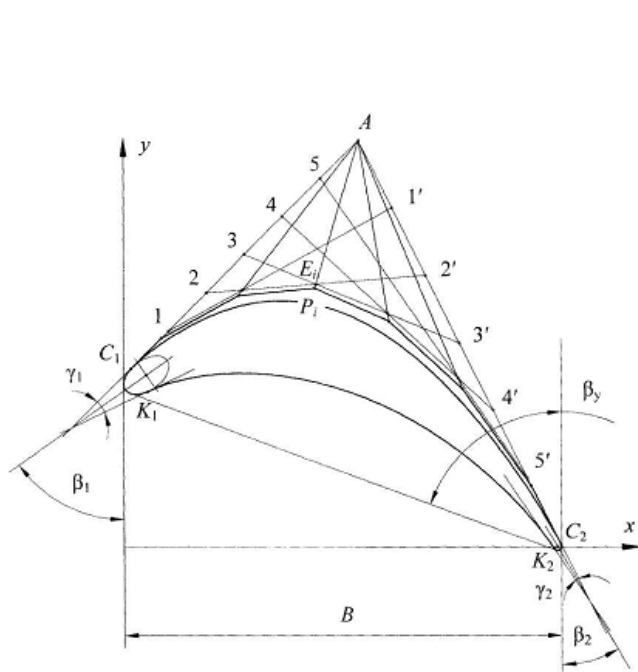
де $x_{i,j}$, $y_{i,j}$, $z_{i,j}$ - координати вершин відповідного характеристичного багатогранника; $R_{i,j}(u, v, \omega)$ - раціональна складова; u, v - параметри побудови фрагментів поверхні Безьє; $\omega_{i,j}$ - вагові коефіцієнти вершин; u, v - параметри побудови фрагментів поверхні Безьє; n - кількість вершин характеристичного багатогранника у напрямку u ; m - кількість вершин характеристичного багатогранника у напрямку v .

2. Лопатка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що до формул формалізованого графічного способу побудови параболічної кривої за відомими кутами нахилу дотичних до них, що використовується для визначення положень вузлових точок лопатки в характеристичних її

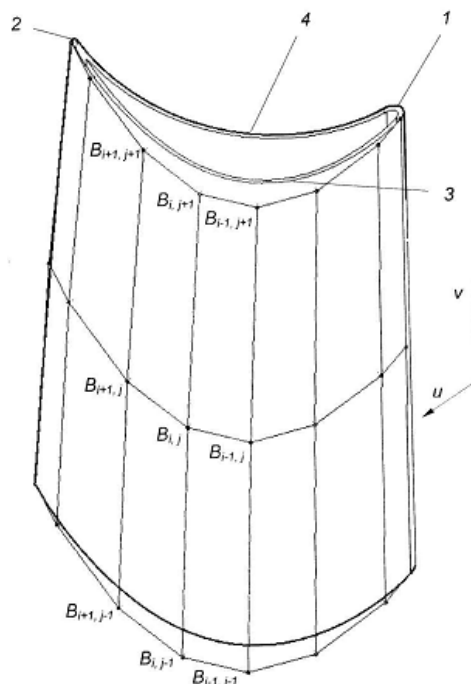
перерізах, введено корегуючий коефіцієнт Q , який враховує величину кута вигину середньої лінії профілю характеристичного перерізу лопатки:

$$X_{Pi} = \frac{X_{Ei} + Q \cdot X_A}{1 + Q}, \quad Y_{Pi} = \frac{Y_{Ei} + Q \cdot Y_A}{1 + Q} \quad i \in [0, n]$$

- де Q приймається у діапазоні від -0,1 до 0,01, залежно від кривини середньої лінії профілю та типу обводу: додатні значення використовують для контуру коритця, від'ємні - спинки, граничні положення запропонованого діапазону прийнято брати при значному вигині середньої лінії профілю; X_{Ei} , Y_{Ei} - координати вузлових точок, визначених заявленим методом у п. 1; X_{Ai} , Y_{Ai} - координати точки перетину відповідних дотичних до вхідної та вихідної кромки у точках стикування їх з обводами спинки та коритця лопатки відповідно.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Н. Лисенко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601