



УДК 514.18

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТКОВИХ АПАРАТІВ КОМПРЕСОРІВ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

**Спирінцев В.В., к.т.н.**

*Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара  
Тел. (056) 374-97-29*

**Анотація** – Пропонується методика, згідно з якою здійснюється геометричне моделювання профілів плоских перерізів компресорних лопаток на основі адаптивного методу, що дозволяє усунути розриви кривини в точках сполучення обводів, що описують спинку та коритце з вхідною та вихідною кромками, а також проводити ефективну локальну корекцію та керування формою моделюємої кривої.

**Ключові слова** – плоский переріз, лопатка, профілювання, адаптивний метод.

*Постановка проблеми.* Газотурбобудування (ГТД) – одна з найбільш складних і наукомістких галузей машинобудування, яка динамічно розвивається й знаходить усе більш широке застосування. Ефективність газотурбінних двигунів, основу яких становить газогенератор, суттєво залежить від ступеня геометричного вдосконалювання лопаткових апаратів турбін і компресорів. Турбінні й компресорні лопатки є найбільш масовими й у той же час найбільш складними з погляду геометрії деталями ГТД. Тому проектуванню й виготовленню лопаток турбін і компресорів навіть в умовах дрібносерійного виробництва двигунів приділяється значна увага.

*Аналіз останніх досліджень.* При розробці геометричної моделі лопатки осьового компресора в якості базової прийнята методика профілювання, заснована на розподілі по висоті проточної частини певної сукупності плоских перерізів.

Перо лопатки (рис.1) задається сукупністю плоских перерізів, при цьому нижній переріз визначає форму переходу пера лопатки в її замкову частину. Профілі всіх перерізів задаються в головній координатній системі, що пов'язана з кореневим перерізом лопатки, а початок координатної системи розташовується в центрі ваги перерізу.

Останнім часом на світовому ринку з'явилося високошвидкісне технологічне устаткування.

Зазначені високошвидкісні високотехнологічні обробні центри на базі уведених профілів плоских перерізів лопаток своїм програмним забезпеченням формують геометричну модель лопатки, що підлягає обробці. Дані обробні центри дозволяють виготовляти лопатки досить складної просторової форми за рахунок того, що мають високий ступінь волі переміщення різального інструменту на ЧПУ. Отримана при цьому форма лопаток визначається умовами руху повітря і забезпечує зниження рівня витрат енергії робочої речовини, що позитивно впливає на ефективні показники як окремих ступенів лопаткових компресорів різного конструктивного оформлення, так і їх комбінацій. Однак ці центри мають свої специфічні програмні засоби, і тому ставлять дуже високі вимоги до якості геометричного моделювання лопаток компресорів, що приводить до застосування більш ретельних підходів стосовно геометричного моделювання робочих поверхонь даних елементів.

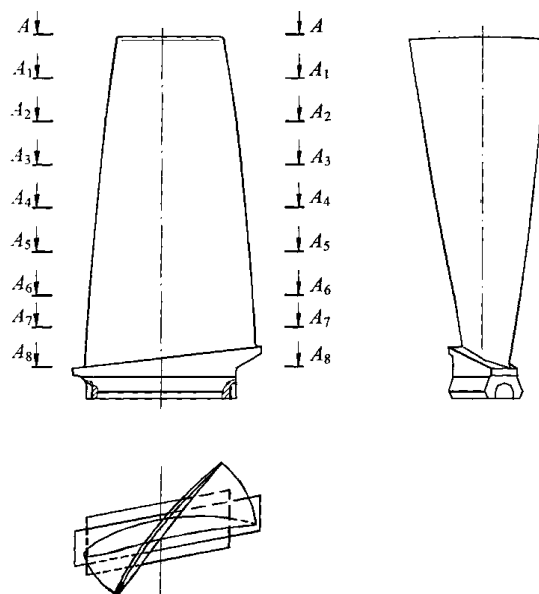


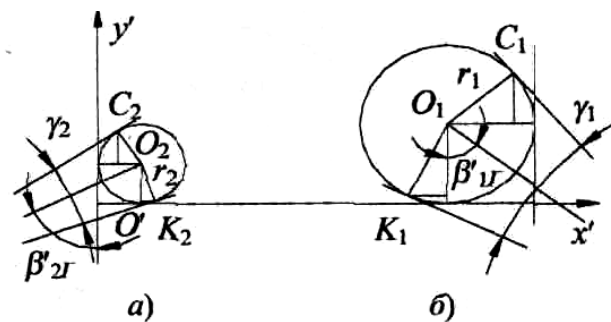
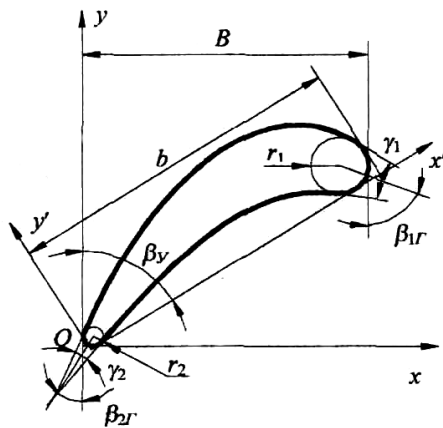
Рис.1. Загальний вид лопатки

У спеціальній літературі з компресорної тематики є достатня кількість публікацій, присвячених проектуванню, дослідженню, геометричному та газодинамічному моделюванню, технології виготовлення, аналізу виконаних конструкцій осьових компресорів. Виконаний аналіз показує, що найбільш ефективні методи розв'язання задачі профілювання лопаткових апаратів компресорів засновані на геометричному підході [1-4], який дозволяє проектувати лопаткові компресорні апарати за заданими параметрами робочої речовини з урахуванням газодинамічних, конструктивних, технологічних обмежень. Однак, незважаючи на велику кількість проведених досліджень в даному напрямку задача удосконалення геометричних

моделей просторових лопаток осьових компресорів ще далека до повного розв'язання.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є розгляд можливості застосування розробленого перспективного методу дискретної інтерполяції [5-7] для здійснення геометричного моделювання профілів лопаткових апаратів компресорів осьового типу шляхом адаптивного підходу до формування дискретного точкового ряду (формує профіль лопатки) та його програмна реалізація.

*Основна частина.* Вихідними даними при профілюванні плоских перерізів пера лопатки компресора (рис.2) є: координати теоретичного профілю лопатки, що описують спинку і коритце та задані дискретною сукупністю точок; координати центрів і радіуси дуг кіл, що описують вхідні та вихідні кромки профілів (рис.3).



а) – вихідна кромка; б) вхідна кромка

Рис. 2. Плоский переріз лопатки

Рис.3 Кромки профілю

Для згладжування обводів спинки і коритця профілю лопатки використовують неперервні та дискретні методи геометричного моделювання. Традиційна методика спирається на застосування методів неперервного геометричного моделювання (криві Безьє, В-сплайни і т.ін.). Обводи вхідної і вихідної кромки при цьому описуються дугами кіл. Аналіз неперервних методів геометричного моделювання [5] показав, що поряд з явними перевагами (володіють спільністю і глибоко розвиненою теорією, простота і наочність) дані методи не в силах задовольнити зростаючим потребам реального проектування, оскільки не завжди в змозі забезпечити гарантію відсутності осциляції, внаслідок чого, не можуть гарантувати стійкість і забезпечення необхідної точності моделювання; найчастіше, виникають значні труднощі при здійсненні корекції рішення і управлінні формою модельованої кривої; мають складний апарат обчислювальної та програмної реалізації і т.ін.



Зазначених недоліків позбавлені методи дискретної інтерполяції, що володіють простотою розрахункових алгоритмів і їх програмної реалізації, що дають широкі можливості локальної корекції рішення, та гарантують відсутність осциляції і, отже, високу точність моделювання.

Тому дослідження в напрямку геометричного моделювання лопаток турбокомпресора із застосуванням методів дискретної інтерполяції є актуальними та потребують подальшого вивчення.

В роботі [5] було запропоновано адаптивний спосіб дискретної інтерполяції. Наведені схеми дозволяли згущувати лише опуклі ділянки ДПК, та не завжди усували можливість появи осциляції поблизу вузлових точок. Також не були розглянуті питання, що виникають при практичному моделюванні та пов'язані зі згущенням ДПК, що мають перехідні та прямолінійні ділянки. Подальші дослідження [6-7] дозволили усунути виявлені недоліки адаптивного способу та дали підґрунтя для формування нового перспективного методу геометричного моделювання. В даній роботі пропонується застосувати розроблений адаптивний метод для вирішення поставленого практичного завдання - геометричного моделювання лопаток турбокомпресора.

Для цього пропонуємо наступну методичку:

1. З'єднуємо ланками точки теоретичного профілю. В результаті одержуємо деяку замкнену супроводжуючу ламану лінію (СЛЛ) дискретно представлені кривої (ДПК) лінії.
2. Визначаємо основні характеристики даної СЛЛ (довжини ланок, кути нахилу даних ланок  $\alpha_i^0$  відносно глобальної осі  $Ox$ , кути суміжності у вузлах  $\gamma_i^0$  до згущення) відповідно до пунктів основного алгоритму методу [5].
3. Визначаємо положення дотичних  $t_i$  у вузлах вихідної СЛЛ на підставі основних положень дискретного диференціювання [5].
4. Визначаємо тип ділянки (опукла, перехідна, прямолінійна), що підлягає згущенню (згідно [8]), для визначення необхідного алгоритму.
5. Здійснюємо процес згущення вихідної СЛЛ ДПК згідно визначеної схеми п.4.
6. Враховувати значення примикаючих кутів суміжності і їх взаємозв'язок вздовж вихідної СЛЛ ДПК формуємо обвід.

На основі запропонованої методички в роботі розроблено програмне забезпечення для моделювання профілів лопаткових апаратів компресорів на базі адаптивного методу дискретної інтерполяції. Розроблено інтерфейс програмного модулю та складено інструкцію користувача.

### Інструкція користувача.

1. Ввести вихідні координати точок за допомогою кнопки «Добавить» та введенням значень в таблицю або натисканням лівої кнопки миші у потрібному місці на графічному полі.

2. При необхідності виділити потрібну точку, натиснути кнопку «Редактировать» та ввести в таблицю нове значення.

3. Якщо потрібно видалити точку, необхідно виділити її координати в таблиці та натиснути кнопку «Удалить».

4. Після введення координат точок натиснути кнопку «Загустить» необхідну кількість разів.

5. Зберегти результат, натиснувши кнопку «Экспортировать», ввести ім'я файлу та вибрати каталог (рис.4). Розширення файлу .dxf додається автоматично програмою.

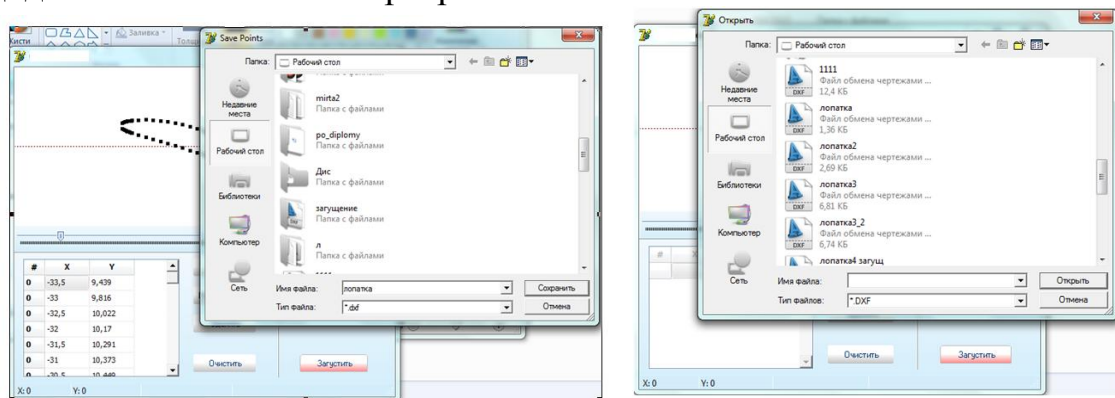


Рис.4. Экспорт та імпорт даних

6. Щоб відкрити раніше збережені дані, треба натиснути кнопку «Импортировать» та знайти необхідний файл (див. рис.4).

7. Перед введенням нових точок в новому файлі натиснути кнопку «Очистить» для очищення графічного поля.

Результат роботи розробленого програмного модулю показаний на рис.5.

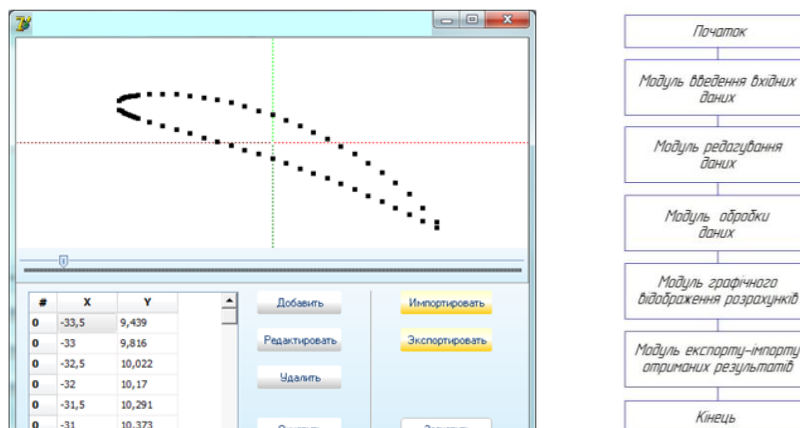


Рис.5. Результат роботи програмного модулю

Отримані профілі лопатки за допомогою створеного програмного модулю імпортуються у систему AutoCAD. Моделювання починається зі створення допоміжних площин, на яких буде розташовано перерізи лопатки (рис.6).

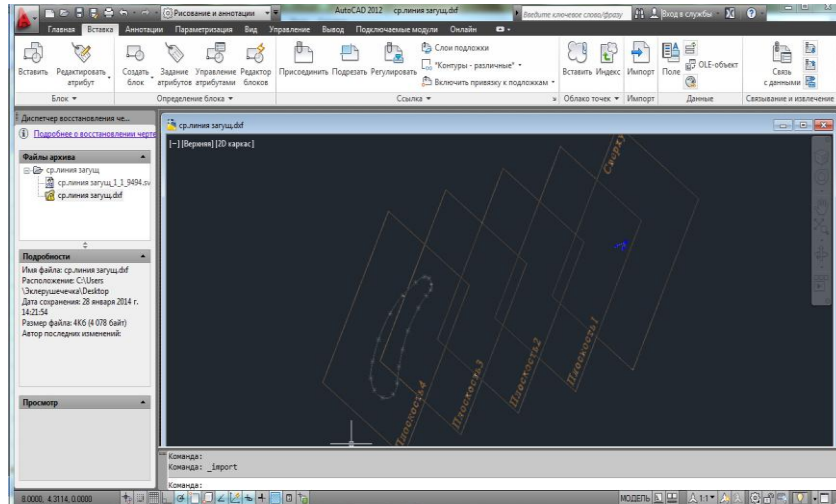


Рис.6. Розташування допоміжних площин

На кожному зі створених площин поміщується профілі лопатки. На профілі натягується поверхня «По сеченням». Результат показаний на рис.7.

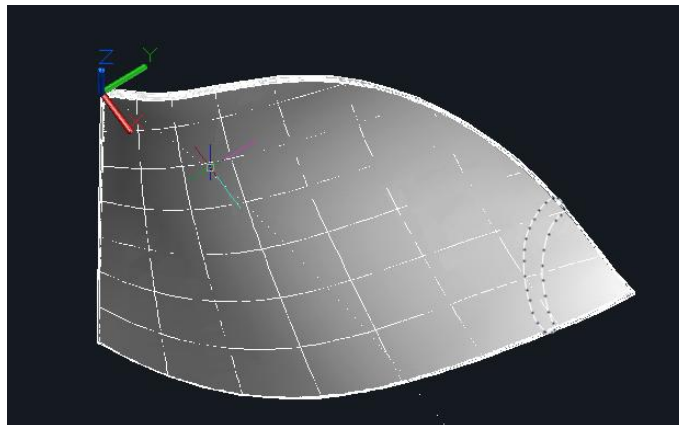


Рис.7. Модель лопатки компресора

*Висновки.* На підставі запропонованої в роботі методики було здійснене моделювання профілю перерізу лопатки компресора по координатах теоретичного профілю відповідно до результатів здійснених розрахунків на базі адаптивного методу дискретної інтерполяції. Розроблене програмне забезпечення дозволяє: отримати дискретний точковий ряд; експортувати отримані результати в систему AutoCAD для подальшого моделювання лопатки на основі



отриманих у програмному модулі плоских перерізів; імпортувати у програмний модуль раніше отримані дискретні точкові ряди для перегляду або внесення змін. Практичне значення отриманих результатів полягає в скороченні термінів проектування, за рахунок автоматизації процесу моделювання та підвищенні якості поверхонь лопаток, що в цілому підвищує ефективність роботи турбокомпресора.

### *Література*

1. *Борисенко В.Д.* Геометричне моделювання лопатних апаратів нагнітальних і розширювальних турбомашин різного конструктивного оформлення /Валерій Дмитрійович Борисенко//: Дис... д-ра техн. наук: 05.01.01.- Миколаїв, 2001. – 359 с.
2. *Кукліна О.Ю.* Геометричне моделювання елементів проточних частин діагональних турбомашин. Автореферат дис...канд. техн. наук: 05.01.01/КНУБА.- К. 2003. – 19 с.
3. *Тормосов Ю.М.* Геометрическое моделирование и способы совершенствования компрессорных решеток / Юрий Михайлович Тормосов // Дис... канд. техн. наук: 05.01.01. – К., 1990.- 145 с.
4. *Спіцин В.Є.* Геометричне моделювання компресорних лопаткових апаратів / Володимир Євгенович Спіцин.// Дис... канд. техн. наук: 05.01.01.- Миколаїв, 2005. – 182 с.
5. *Спірінцев В.В.* Дискретна інтерполяція дискретно представлених кривих ліній на основі заданого закону зміни кутових параметрів / В'ячеслав Васильович Спірінцев//. Дис...канд. техн. наук: 05.01.01.- Мелітополь., 2006. – 183 с.
6. *Спірінцев В.В.* Згущення перехідних ділянок ДПК на основі адаптивного способу дискретної інтерполяції / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету секція «Прикладна геометрія та інженерна графіка» – Вип.14, т.2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2014. – С.143-148.
7. *Спірінцев В.В.* Дискретна інтерполяція прямолінійних ділянок ДПК на основі адаптивного способу / В.В.Спірінцев, О.В.Спірінцева, В.О.Лебедев / Вестник Херсонского национального технического университета. Вып.3(50).- Херсон: ХНТУ, 2014.-С.605-610.
8. *Спірінцев Д.В.* Ідентифікація ділянок дискретно представлених кривих за її кутовими геометричними властивостями / Д.В.Спірінцев, В.А.Строкань, О.А.Ерьомін, І.В.Глокі / Праці XIII Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання” – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С.88-93.



## **ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ ЛОПАТКОВЫХ АППАРАТОВ КОМПРЕССОРОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО МЕТОДА ДИСКРЕТНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ**

В.В. Спиринцев

### *Аннотация*

**Предлагается методика, согласно которой осуществляется геометрическое моделирование профилей плоских сечений компрессорных лопаток на основе адаптивного метода, позволяющего устранить разрывы кривизны в точках соединения обводов, описывающих спинку и корытце с входной и выходной кромками, а также проводить эффективную локальную коррекцию и управление формой моделируемой кривой.**

## **GEOMETRICAL MODELLING OF THE PROFILES OF BLADES OF COMPRESSORS ON THE BASIS OF THE ADAPTIVE METHOD OF THE DISCRETE INTERPOLATION**

V. Spirintsev

### *Summary*

**Is offered a technique according to which geometrical modelling of profiles of flat sections of compressor blades on the basis of the adaptive method is carried out. This method allows to remove ruptures of curvature in points of connection of the contours describing a back and a bucket with input and output edges and also to carry out effective local correction and control of the form of the modeled curve. The developed software allows: to receive a discrete dot row; to export the received results to the AutoCAD system for further modeling of compressor blades on the basis of the flat sections received in the program module; to import to the program module earlier received discrete dot ranks for viewing or modification. The practical value of the received results consists in reduction of terms of design, due to automation of process of modeling and improvement of quality of surfaces of blades that in general increases overall performance of a turbocompressor.**