

УДК 515.2:681.3

ДИСКРЕТНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛЮ ЛОПАТКИ ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВИГУНА СМД-68 З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Щербина В.М., к.т.н.,

Мацулевич О.Є., к.т.н.,

Обиденний Є.О.

Таврійський державний агротехнічний університет

Тел. (0619) 42-68-62

Анотація – у роботі пропонується спосіб дискретної інтерполяції дискретно поданих кривих (ДПК) на підставі тотожності при накладені додаткових умов, розглядаються викладені результати та методика автоматизованого проектування функціональних поверхонь лопаток турбокомпресора двигуна СМД – 68, наводиться відповідний алгоритм.

Ключові слова – дискретно представлена крива (ДПК), супроводжуюча ламана лінія, кут суміжності, початкова умова, супроводжуюча ламана лінія (СЛЛ), дотична.

Постановка проблеми. Якісна та продуктивна робота турбокомпресора залежить від правильного вибору метода побудови профілю лопатки. Для цього необхідно запропонувати методику яка б відповідала відповідним умовам і дозволяла швидко виконувати побудову заданої поверхні а також, при необхідності, коректувати процес виконання поставленої задачі.

Аналіз останніх досліджень При моделюванні профілю лопаток турбокомпресору використовують різні методи побудови перетинів, які в подальшому формують поверхню самої лопатки. Це метод аналітичного профілювання лопаточного вінця (Русанов А.В.). Лопатки задаються довільним набором плоских профілів, кожен з яких розглядається в декартовій системі координат з віссю абсцис, паралельної осі турбіни, і віссю ординат, співпадаючою з фронтом решітки. Профіль описується вхідною і вихідною кромками, а також випуклою та вгнутою кривими. Вхідна і вихідна кромки є колами, а випукла і вгнута криві- багаточленами 4-го порядку. Метод

криволінійних перетворень для формування квазівинтових поверхонь проф. А.Н. Підкоритов та ін..

Формування цілей статті. Метою досліджень, результати яких викладено в статті, є розробка одного із способів побудови перетинів профілю лопатки турбокомпресора з використанням програмної реалізації, яка основана на моделюванні плоских спіралеподібних і замкнених дискретно поданих кривих (ДПК) на підставі кутів суміжності, утворених ланками супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ) має особливості, зв'язані з їх геометричними характеристиками і розташуванням щодо системи координат [1, 2].

Основна частина. Прийемо схему згущення (рис.1). Де точки згущення будуються на серединних перпендикулярах до відповідним ланкам СЛЛ вихідної ДПК. Співвідношення (1) має вид основної тотожності згущення на підставі кутів суміжності:

$$\gamma_{i-0,5}^1 + 2\gamma_i^1 + \gamma_{i+0,5}^1 = 2\gamma_i^0, \quad i = \overline{1; n-1}. \quad (1)$$

Система (2.1) має (n-1) рівнянь з (2n-1) невідомими. Отже для отримання єдиного рішення необхідно задати n умов. Зауважимо, що система (2.1) не є різницевої схемою 2-го порядку, оскільки відсутні проміжні рівняння, що зв'язують кути суміжності ланок СЛЛ згущеної ДПК в двох сусідніх вузлових точках γ_i^1 і в точці згущення $\gamma_{i+0,5}^1$ між ними. Додаткової інформації про складання таких рівнянь немає. Тому необхідно шукати інші шляхи розв'язання системи (1), Зокрема, накладенням додаткових умов на співвідношення між кутами γ^1 . При реальному проектуванні краще залишити один параметр вільним для управління формою ДПК при згущенні.

Основний алгоритм згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів полягає в наступному:

1. Розраховуються кути суміжності $\gamma_{i-0,5}^1, i = \overline{1; n}$ ланок згущеної ДПК. Умовою опуклості згущеної ДПК є дотримання нерівностей:

$\gamma_{i-0,5}^1 > 0, i = \overline{1; n}$.

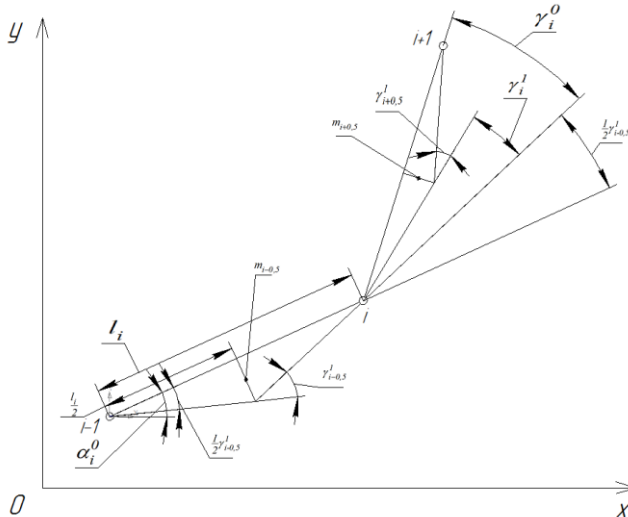


Рис. 1. Згущення ДПК точками, розташованими на серединних перпендикулярах.

2. Визначаються довжини ланок вихідної СЛЛ:

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}; \quad i = \overline{1; n}. \quad (2)$$

3. Знаходяться перевищення точок згущення над відповідними хордами

$$m_{i-0,5}^1 = \frac{1}{2} l_i \operatorname{tg} \frac{\gamma_{i-0,5}^1}{2}, \quad i = \overline{1; n}. \quad (3)$$

4. Визначаються координати точок згущення:

$$\begin{aligned} x_{i-0,5} &= \frac{x_i + x_{i-1}}{2} - m_{i-0,5}^1 \sin \alpha_{i-1}^0, \\ y_{i-0,5} &= \frac{y_i + y_{i-1}}{2} + m_{i-0,5}^1 \cos \alpha_{i-1}^0, \quad i = \overline{1; n}. \end{aligned} \quad (4)$$

Переваги запропонованої схеми згущення неоднозначних ДПК полягають в наступному:

- в максимальній мірі використовуються геометричні параметри вихідної ДПК, оскільки в розрахунках беруть участь довжини ланок l_i , їх положення відносно вісі координат (кути α_i) і взаємне розташування (кути γ_i);
- на параметри згущення і взаємне розташування точок не накладається ніяких додаткових обмежень, крім умови опуклості точок вихідної ДПК;
- розрахунки спираються на основну тотожність згущення (1), які мають дуже просту форму і великі можливості в накладанні додаткових умов;
- широка варіація початкових умов при однаковому дотриманні умов опуклості згущеної ДПК;
- схема легко реалізується простими геометричними побудовами;
- процес згущення можна провести локально з урахуванням кривизни вихідної ДПК, тобто на ділянках з більшою кривизною можна виконати більше кроків згущення в порівнянні з ділянками з меншою кривизною.

При цьому, критерієм закінчення згущення на даній ділянці є досягнення для перевищення $m_{i-0,5}^{(k)}$ (на k -му кроці згущення) значення $|m_{i-0,5}^{(k)}| \leq \varepsilon$, де $\varepsilon \geq 0$ - як завгодно мале наперед задане число.

По досягненні цієї умови точки згущеної ДПК з'єднуються відрізками СЛЛ, яка і вважається остаточною формою кривої яка інтерполюється.

Для побудови довільної точки цієї кривої при $x = \bar{x}$ поступаємо таким чином:

- визначаємо інтервал в який вкладається задане значення $x = \bar{x}$;

- розраховуємо значення ординати \bar{y} точки згущення з умови її належності до ланки $[p, p + 1]$ СЛЛ згущеної ДПК:

$$\bar{y} = \frac{y_{p+1} - y_p}{x_{p+1} - x_p} (\bar{x} - x_p) + y_p. \quad (5)$$

Аналогічно розраховується абсциса \bar{x} шуканої точки, якщо задана її ордината $y = \bar{y}$.

Розглянемо докладніше розрахунок кутів суміжності згущеної ДПК на підставі накладання додаткових співвідношень між кутами суміжності в тотожності (1).

Дискретна інтерполяція згідно способу γ_{cp}^I здійснюється у відповідності з наступним алгоритмом:

1. Визначаються кути нахилу α_i^0 ланок СЛЛ вихідної ДПК:

$$\alpha_{i-1}^0 = \arctg \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}; \quad i = \overline{1; n}. \quad (6)$$

2. Згідно з умовою, викладеною у п. 1, раховуємо кути суміжності γ_i^0 вихідної ДПК за формулою:

$$\gamma_i^0 = \alpha_{i-1}^0 - \alpha_i^0, \quad i = \overline{1; n-1}. \quad (6')$$

3. Розраховуються значення кутів суміжності ланок СЛЛ згущеної ДПК за формулою (5). Звернемо увагу на те, що згідно (5) розраховуються і кути суміжності $\gamma_{1,5}, \gamma_{2,5}, \dots, \gamma_{n-1,5}$ в точках згущення. Для незамкненої ДПК невизначеними виявляються значення $\gamma_{0,5}^I$ і $\gamma_{n-0,5}^I$. Можна прийняти $\gamma_{0,5}^I = \gamma_1^I$ і $\gamma_{n-0,5}^I = \gamma_{n-1}^I$. Тоді на підставі тотожності (1):

$$\gamma_{0,5}^I = \frac{1}{3} (2\gamma_1^0 - \gamma_{1,5}^I), \quad \gamma_{n-0,5}^I = \frac{1}{3} (2\gamma_{n-1}^0 - \gamma_{n-1,5}^I). \quad (7)$$

Для замкнутої ДПК $\gamma_0^0 = \gamma_n^0$, тоді з умови (5) кути суміжності визначаються у всіх точках згущення однозначно. Надалі розрахунки координат точок згущення здійснюються відповідно до п. 3. і 4. основного алгоритму згущення (п. 3., формули (3), (4), (5)).

На базі вище наведеного алгоритму створюємо в Delphi програму яка дозволить швидко розраховувати точковий ряд ДПК. Зв'язок Delphi з AutoCAD реалізується за допомогою використання СОМ-об'єктів. Для реалізації можливості взаємозв'язку Delphi з AutoCAD необхідно транслювати в Delphi бібліотеку типів AutoCAD.

Програмний продукт призначений для побудови й згущення тачкового ряду. Згущення якого відбувається з використанням алгоритму згущення ДПК на основі середніх перпендикулярів. Дана

програма дозволяє отриманий точковий ряд імпортувати в програмний продукт Autodesk AutoCAD 2007.

Основне вікно програми має такий вигляд (рис.2):

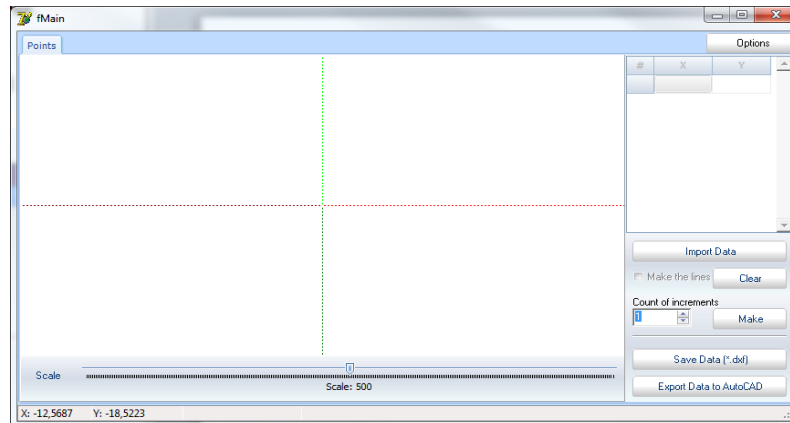


Рис.2.

- область для графічного відображення точкового ряду - Points;
- таблиця відображення точкового ряду в чисельному виді;
- Import Data - кнопка для імпортування точкового ряду в програму з файлу у форматі .DXF;
- Make the lines - дозволяє побудувати графік у вигляді суцільної лінії;
- Clear - очищення вихідного точкового ряду;
- Count of increments - у даному полі вказується кількість ітерацій згущення точкового ряду.
- Save Data - дозволяє зберегти точковий ряд в окремому файлі.
- Export Data to AutoCAD - дозволяє експортувати точковий ряд до програмного продукту Autodesk AutoCAD.
- Options - тут можна вказати колір і розмір точок у точковому ряду.

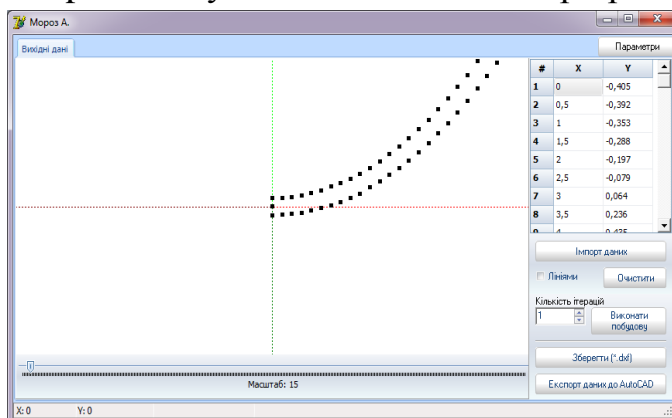


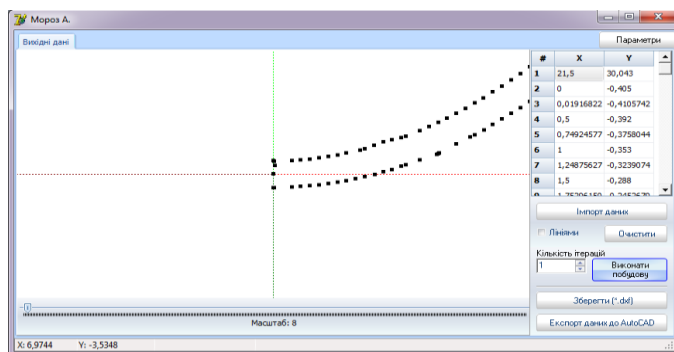
Рис.3.

Для роботи з даною програмою нам необхідно імпортувати в неї точковий ряд з файлу або ввести його вручну (рис.3). Для того щоб імпортувати точковий ряд з файлу необхідно натиснути на кнопку Import Data і в діалоговому вікні, що відкрилося, вказати необхідний файл у форматі .DXF. Після чого потрібно

натиснути кнопку Відкрити.

Після чого програма побудує точковий ряд у відповідних координатах.

Користувач має можливість редагувати вихідні дані та зберегти відредагований файл використовуючи кнопку «Зберегти»



(рис.4).

Для подальшої роботи необхідно вказати кількість кроків згущення й нажати кнопку «Make». У результаті цього програма виконає необхідні розрахунки й відобразить отримані значення в область графічного відображення

Рис.4

точкового ряду «Points».

Головна перевага даного програмного продукту те що вона синхронізована із програмним продуктом Autodesk AutoCAD. У результаті цього у користувача є можливість експортувати отримані дані в програму САПР AutoCAD натисканням кнопки «Export Data to AutoCAD» і точковий ряд буде перебудований у програмний продукт Autodesk AutoCAD.

Таким чином, ми маємо побудувати поверхню лопатки яка представлена на рис.5.

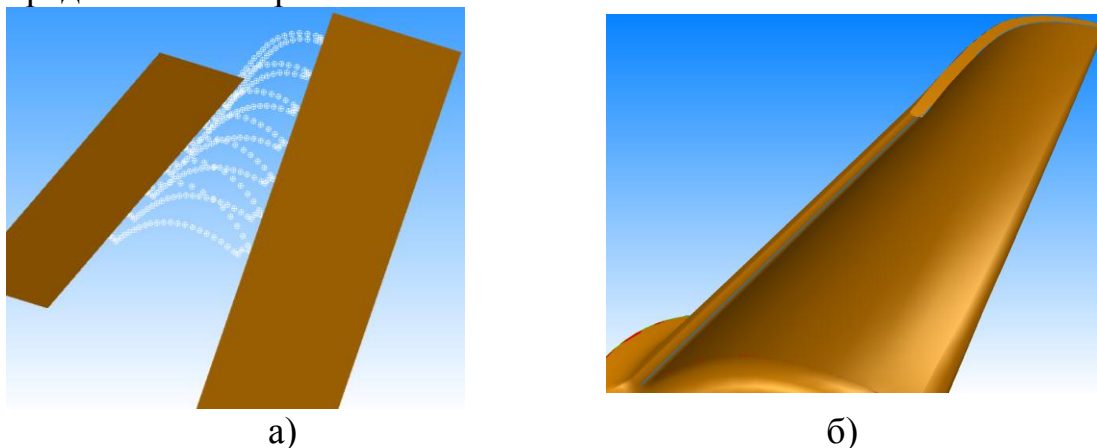


Рис. 5. Побудовані перетини профілю лопатки (а), спроектована лопатка турбокомпресора (б).

Висновки. На основі запропонованого методу та програмної реалізації отримано спосіб дискретної інтерполяції ДПК заданого перетину профілю лопатки турбокомпресору, що відрізняється простотою розрахунків, гарантує відсутності осциляції, підвищеною гладкістю за рахунок можливості редагування заданого точкового

ряду. Для ДПК, що має точки перегину, спосіб потребує подальшого дослідження і уточнення.

Література

1. Щербина В.М. Дискретное моделирование на основе улов смежности. / В.М. Щербина/ Прикл.геом. и инж.графика./ Труды ТГАТА. - Мелитополь, 1999. – Вып. 4. – Т.7. - С. 82-85.
2. Щербина В.М. Особливості визначення початкових умов при згущенні спіралеподібних дискретно поданих кривих./ В.М. Щербина / Прикл. геом. и інж. Графіка./ Праці ТДАТА. - Мелітополь, 2002.– Вип. 4. – Т. 15.– С.97–105.
3. Верещага В.М. Дискретное моделирование замкнутых кривых./ В.М. Верещага, В.М. Щербина / Деп. В ГНТБ Украины. 20.04.94 № 803-УК94. – Мелитополь: МИМСХ, 1944.

ДИСКРЕТНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЛОПАТКИ ТУРБОКОМПРЕССОРА ДВИГАТЕЛЯ СМД-68 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

В.М., Щербина, А.Е Мацулевич, Е.А. Обыденный

Аннотация – в работе предлагается способ дискретной интерполяции дискретно представленных кривых (ДПК) на основании тождества при наложении дополнительных условий, рассматриваются представленные результаты и методика автоматизированного проектирования функциональных поверхностей лопаток турбокомпрессора двигателя СМД – 68, приводится соответствующий алгоритм.

DISCRETE GEOMETRICAL MODELLING OF STRUCTURE TURBOCHARGER BLADE OF ENGINE SMD-68 WITH USE OF PROGRAM REALIZATION

V. Scherbina, A. Matsulevich, E. Obydennyj

Summary

The paper provides a method of discrete interpolation discretely presented curves (DPC) on the basis of identity when imposed additional conditions are considered presents the results and methodology of computer-aided design of functional surfaces of the engine turbocharger blades SMD - 68, given the appropriate algorithm.