

[3] Можливості дослідження робочого процесу ДВЗ на підставі енергетичного балансу в межах робочого циліндру друк. Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 6 (429) – 196 с.

[4] Андреев А.А. Комп'ютерні технології у теплотехнічних розрахунках. Частина І: Навчальний посібник з грифом МОНУ (лист №1/11-6723 від 07.05.2014 р.)/ А.А. Андреев, О.М. Дудченко, С.А. Лой, В.В. Спіхтаренко, В.С. Цвікліс. – Херсон: Видавець Грінь Д.С., 2014. – 244 с.

Results of minimization of heat losses of marine low-speed engines

Andreev Andrii¹, Khomenko Viktoriia², Avdiunin Roman³

¹⁻³Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Increasing the fuel efficiency of internal combustion engines has become possible not only due to the improvement of processes occurring in diesels, but also due to the rational ratio of the main dimensions of the cylinder (piston stroke to cylinder diameter, S/D_c). By minimizing the specific cooling surface of the cylinder, it is possible to create conditions under which heat losses will be reduced at the stage of sketch design, which in turn will increase the efficiency of the engine. It is most expedient to carry out such measures for marine long stroke engines.

Key words: ICE, minimization

УДК 621.515

НОВИЙ ПІДХІД ДО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ S-ПОДІБНИХ СЕРЕДНІХ ЛІНІЙ ПРОФІЛІВ ЛОПАТОК ОСЬОВИХ КОМПРЕСОРІВ

Борисенко В.Д.¹, Устенко С.А.², Устенко І.В.³

¹доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського,
м. Миколаїв, Україна

²доктор технічних наук професор кафедри проектного навчання в інформаційних технологіях Державного університету "Одеська політехніка",
м. Одеса, Україна

³кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Дослідження присвячене розробці нового підходу до геометричного моделювання середніх ліній профілів лопаток осьових компресорів S-подібної форми. Підхід базується на застосуванні кривих ліній, які подаються у натуральній параметризації. Середня лінія подається двома ділянками, які стикуються із забезпеченням третього порядку гладкості.

Ключові слова: середня лінія, S-подібна форма, профіль, осьовий компресор.

Моделювання S-подібної середньої лінії профілю лопатки осьового компресора будемо виконувати із застосуванням кривих, які подаються у натуральній параметризації. Моделювання починають із розміщення чотирьох опорних точок (рис. 1).

Середню лінію будуватимемо як складену з двох ділянок криву, які стикуватимуться в точці I із забезпеченням третього порядку гладкості.

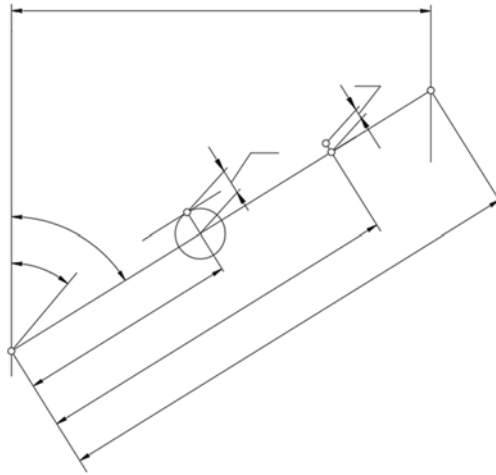


Рис.1. Вихідні дані до моделювання середньої лінії профілю

Вхідну ділянку кривої моделюватимемо із застосуванням квадратичного закону розподілу кривини, взятому у наступному вигляді:

$$k_1 = a_1 S^2 + b_1 S + c_1. \quad (1)$$

За додаткову умову приймемо те, що різниця між кривиною в точках I і 0 має бути мінімальною. В точці 0 , де довжина дуги є нульовою, кривина кривої k_0 буде дорівнювати коефіцієнту c_1 виразу (1).

Взявши похідну від різниці кривини в точках I і 0 по довжині дуги і прирівнявши її нулю матимемо:

$$d(k_1 - k_0)/dS = d(a_1 S^2 + b_1 S)/dS = 0.$$

Звідки отримаємо наступне

$$2a_1 S + b_1 = 0. \quad (2)$$

З цього виразу знаходимо залежність для коефіцієнта b_1

$$b_1 = -2a_1 S.$$

Для квадратичного закону розподілу кривини при s рівному довжині дуги між нульовою та першою точками з урахуванням $c_1 = k_0$ залежність кута нахилу дотичної від довжини дуги матиме вигляд:

$$\varphi_1 = \varphi_0 + a_1 S^3/3 + b_1 S^2/2 + k_0 S.$$

Маючи залежність для коефіцієнта b_1 , отримаємо вираз для коефіцієнта a_1 :

$$a_1 = 1,5[k_0 - (\varphi_1 - \varphi_0)/S]/S^2.$$

Вираз для коефіцієнта b_1 остаточно матиме вигляд:

$$b_1 = \frac{3}{S} \left(\frac{\varphi_1 - \varphi_0}{S} - k_0 \right).$$

У результаті виконаних перетворень приходимо до висновку, що для побудови першої ділянки кривої необхідно знайти значення довжини дуги S і кривини k_0 . Для їх знаходження маємо два рівняння

$$x(s) = x(0) + \int_0^s \cos \varphi(s) ds; \quad y(s) = y(0) + \int_0^s \sin \varphi(s) ds,$$

які застосовуємо для розрахунку координат точки I . Невідомі величини визначаємо числовим методом мінімізації відстані між проміжно отриманою кінцевою точкою та її вихідним значенням.

Для забезпечення стикування ділянок складеної кривої в точці 1 з третім порядком гладкості, а також проведення кривої через точку 2 необхідно підвищити степінь полінома закону розподілу кривини і взяти його в наступному вигляді:

$$k = a_2 s^4 + b_2 s^3 + c_2 s^2 + d_2 s + e_2. \quad (3)$$

Довжину дуги на другій ділянці складеної кривої почнемо відраховувати з нульового значення. Приймаючи до уваги, що кривини двох ділянок в точці 1 мають бути рівними, з виразу (3) знаходимо $e_2 = k_1$.

Для отримання третього порядку гладкості стикування ділянок кривих забезпечуємо в точці стику рівність похідних кривини від довжини дуги. На другій ділянці похідна від закону розподілу кривини подається залежністю:

$$k' = dk/ds = 4a_2 s^3 + 3b_2 s^2 + 2c_2 s + d_2.$$

Похідна від закону розподілу кривини на першій ділянці складеної кривої від довжини дуги в точці 1 має вигляд:

$$k' = 2a_1 S + b_1$$

і згідно з (2) дорівнює нулю.

Похідна від кривини кривої в точці 1 на другій її ділянці також дорівнює нулю. З урахуванням того, що в цій точці $s = 0$, будемо мати $d_2 = 0$.

З урахуванням значень коефіцієнтів d_2 і e_2 вираз для розподілу кута нахилу дотичної на другій ділянці кривої для кінцевої точки 3 набуде вигляду:

$$\varphi_3 = \varphi_1 + a_2 S^5 / 5 + b_2 S^4 / 4 + c_2 S^3 / 3 + k_1 S.$$

З цього виразу визначаємо коефіцієнт a_2 :

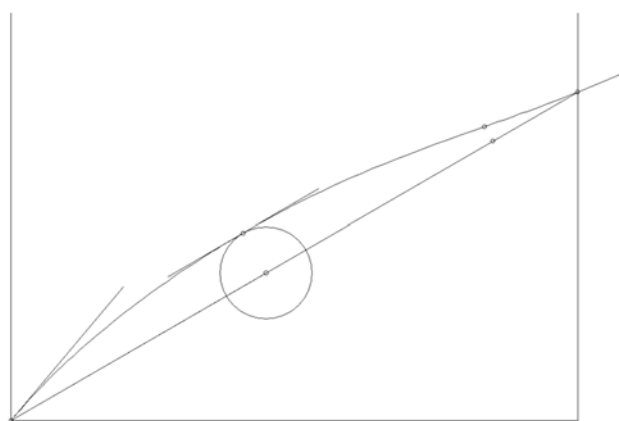
$$a_2 = \frac{5}{S^4} \left(\frac{\varphi_3 - \varphi_1}{S} - \frac{b_2 S^3}{4} - \frac{c_2 S^2}{3} - k_1 \right).$$

Решту коефіцієнтів і довжину дуги другої ділянки знаходимо шляхом розв'язання задачі мінімізації віддалення проміжно отриманих точок від заданих опорних точок. Оскільки модельована крива має пройти через точки 2 і 3, то розглядувана задача є двокритеріальною. Цільова функція складатиметься з двох компонентів і матиме вигляд:

$$f_{\Pi} = \lambda_1 \sqrt{(\bar{x}_2 - x_2)^2 + (\bar{y}_2 - y_2)^2} + \lambda_2 \sqrt{(\bar{x}_3 - x_3)^2 + (\bar{y}_3 - y_3)^2}.$$

У цій функціональній залежності під координатами з рисками розуміються координати проміжно отриманих точок, а під λ_i – нормувальні коефіцієнти, сума яких має дорівнювати одиниці.

На підставі запропонованого методу моделювання середньої лінії S-подібної форми профілю лопатки осьового компресора розроблено програмний код, який, окрім числових результатів, видає їх у графічній формі. На рис. 2 наведено результати візуалізації середньої лінії тестового прикладу. З розгляду цього рисунку видно, що в опорній точці 2 відбувається перегин кривої.

Рис.2. Тестовий приклад S -подібної середньої лінії

На рис. 3 наведені графіки розподілу кривини і похідної від неї для тестового прикладу. Видно, що розподіл кривини від відносної довжини дуги має плавний характер. Точка на цій кривій вказує місце перегину кривої, в якій кривина дорівнює нулю.

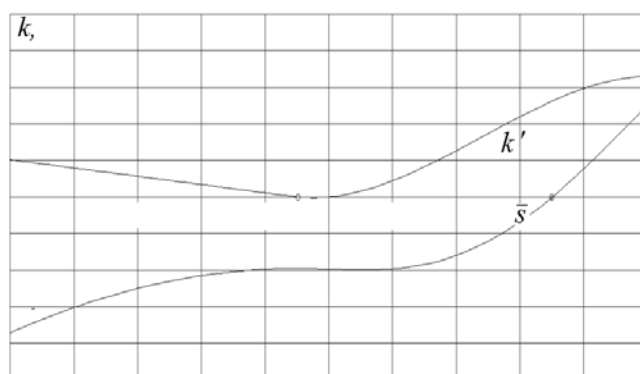


Рис.3. Графіки розподілу кривини та її похідної

Графік розподілу похідної від довжини дуги також має плавний характер. Криві похідних ділянок не терплять розрив, що є свідченням третього порядку гладкості стикування ділянок складеної кривої.

A new approach to geometric modeling of s-shaped camber lines of axial flow compressor blade airfoils

Borisenko Valeriy¹, Ustenko Serhiy², Ustenko Iryna³

¹V.O. Sukhomlynsky Mykolayiv National University, ²Odessa Polytechnic State University,

³Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The research is devoted to the development of a new approach to geometric modeling of the S-shaped camber lines of the profiles of the blades of axial flow compressors. The approach is based on the use of curved lines, which are given in natural parameterization. The camber line is fed by two sections, which are joined to ensure the third order of smoothness.

Key words: camber line, S-shape, profile, axial flow compressor.