

ДВІ 7-ПАРАМЕТРИЧНІ КРИВІ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОФІЛЮ СПИНКИ ЛОПАТКИ

¹ Стецюк П.І., ²Ткаченко О.В., ¹ Хом'як О.М.

¹ Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова
м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 40

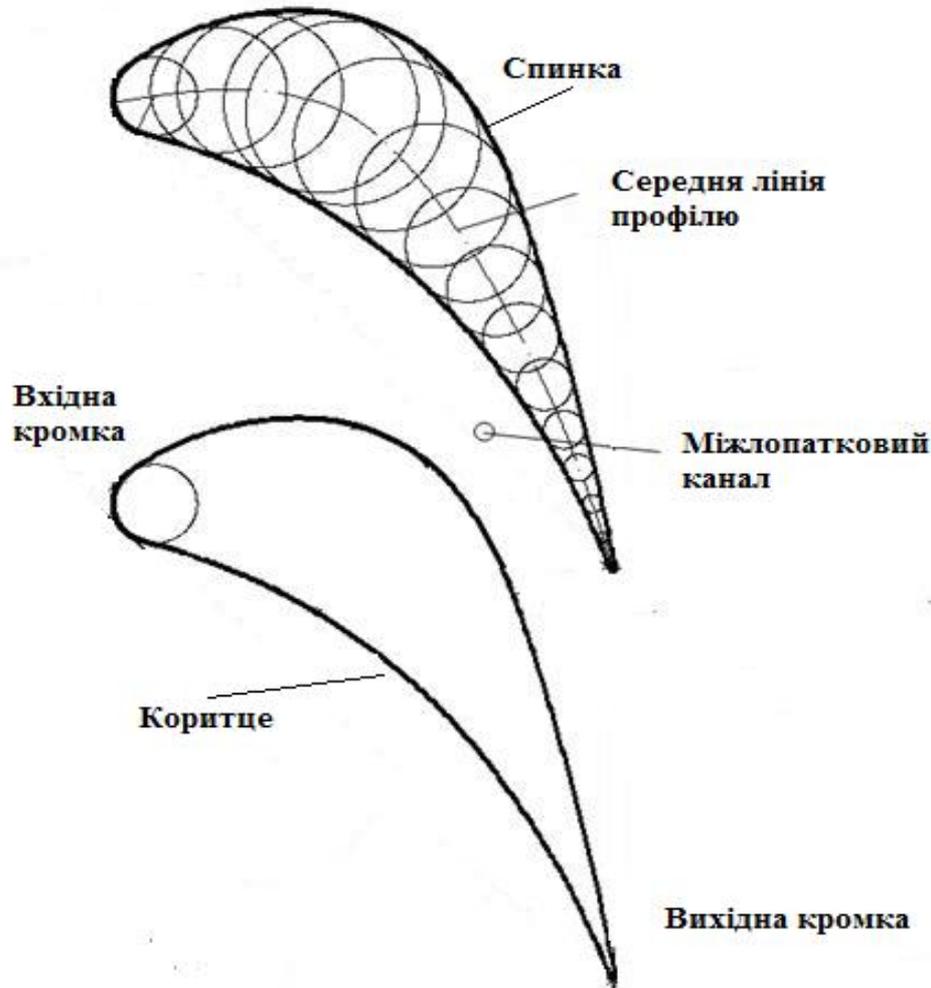
² ДП «Івченко - Прогрес»
м. Запоріжжя, вулиця Іванова, 2

XXII Міжнародний науково-практичний семінар
«КОМБІНАТОРНІ КОНФІГУРАЦІЇ ТА ЇХНІ ЗАСТОСУВАННЯ»
15 травня 2020 р.

План доповіді

- Про профілі турбінних лопаток
- Геометрична модель спинки лопатки
- Крива I (в натуральній параметризації)
- Крива II (поліном третього степеня)
- Обчислювальний експеримент
- Висновки

Про профілі турбінних лопаток



Турбіни знайшли широке застосування в конструкторських схемах авіаційних, суднових і стаціонарних газотурбінних двигунів.

Аеродинамічна досконалість турбін в значній мірі обумовлюється геометрією профілів лопаток.

Способи побудови

1. Борисенко В.Д., Устенко С. А., Устенко І. В., Кузьма К. Т. (2019) Розробка методу геометричного моделювання профілю лопатки осьової турбомашини. Східно-Європейський журнал передових технологій. Vol 5, № 1 (101).
2. Souverein, L., Veggi, L., Sudhof, S. et. al. (2017). On the effect of axial turbine rotor blade design on efficiency: a parametric study of the Baljé-diagram. 7th European conference for aeronautics and space sciences (EUCASS).
3. Ткач М.Р., Агарков О.Ю. (2014) Моделювання плавних кривих стосовно профілів лопаток осьових турбін. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. № 3. С. 58-62.

Геометрична модель (7 параметрів)

Дано: r_1 – радіус заокруглень вхідної кромки лопатки,

r_2 – радіус заокруглень вихідної кромки,

t – крок решітки,

B – довжина хорди,

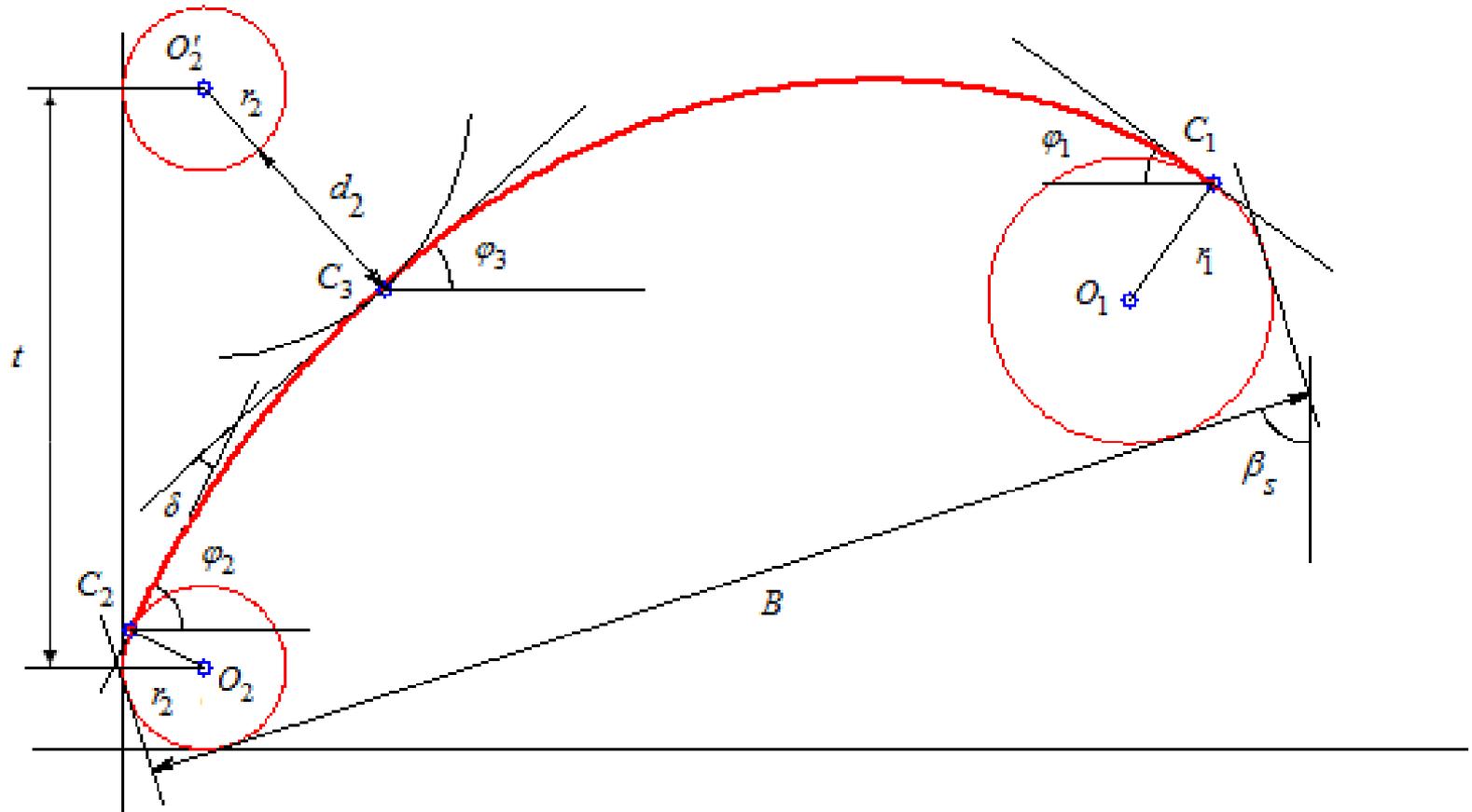
β_s – кут установки профілю,

d_2 – величина горла міжлопаткового каналу,

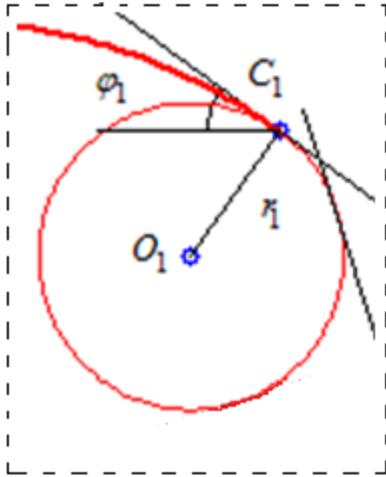
δ – кут відгину вихідної кромки.

Знайти: криву, яка проходить через невідомі **базові** точки C_1 , C_2 та C_3 , дотичні в яких співпадають з дотичними до кіл O_1 , O_2 та O_2' .

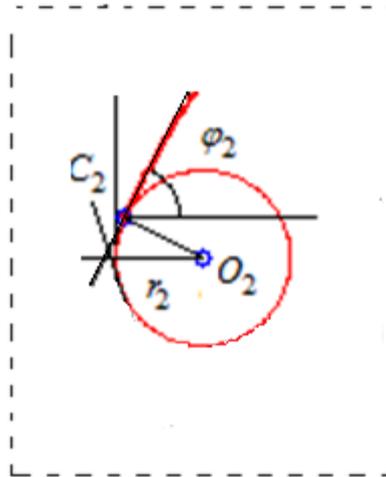
Геометрична модель (3 базові точки)



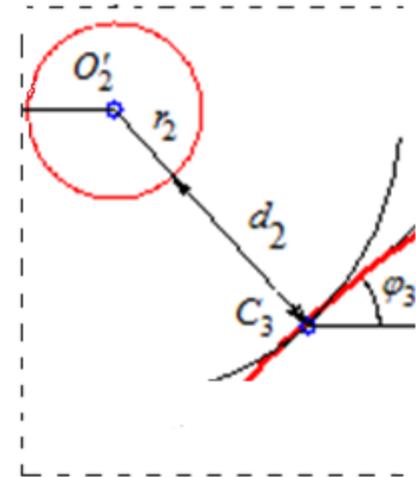
Детальніше про базові точки



Вхідна кромка



Вихідна кромка



Горло міжлопаткового каналу

Тут O_1 , O_2 , O_2' – центри кіл вхідної та вихідних кромки, точка C_1 на колі O_1 (I квадрант), точка C_2 на колі O_2 (II квадрант), точка C_3 – у горлі міжлопаткового каналу (IV квадрант кола O_2'), φ_1 , φ_2 , φ_3 – кути нахилу дотичних до кривої (профілю спинки лопатки) в точках C_1 , C_2 і C_3 .

Крива I (в натуральній параметризації)

Використовується лінійний закон розподілу кривини $k(s) = as + b$, де S , s_1 – невідомі довжини кривих від точки C_1 до точки C_2 та від точки C_2 до точки C_3 , φ_1 , φ_2 – невідомі кути в точках C_1 та C_2 . Кут φ_3 в точці C_3 виражається через кут φ_2 : $\varphi_3 = \varphi_2 - \delta$. Невідомі параметри a , b , S , s_1 , φ_1 , φ_2 є розв'язком системи шести нелінійних рівнянь.

Система рівнянь для кривої І

$$B_x + r_1 \sin \varphi_1 = -r_2 \sin \varphi_2 + \int_0^S \cos \left(\varphi_2 + \frac{as^2}{2} + bs \right) ds, \quad (1)$$

$$B_y + r_1 \cos \varphi_1 = r_2 \cos \varphi_2 + \int_0^S \sin \left(\varphi_2 + \frac{as^2}{2} + bs \right) ds, \quad (2)$$

$$-\varphi_1 = \varphi_2 + \frac{aS^2}{2} + bS, \quad 0 \leq \varphi_1 \leq \frac{\pi}{2}, \quad \delta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}, \quad S > 0, \quad (3)$$

$$(r_2 + d_2) \sin(\varphi_2 - \delta) = -r_2 \sin \varphi_2 + \int_0^{s_1} \cos \left(\varphi_2 + \frac{as^2}{2} + bs \right) ds, \quad (4)$$

$$t - (r_2 + d_2) \cos(\varphi_2 - \delta) = r_2 \cos \varphi_2 + \int_0^{s_1} \sin \left(\varphi_2 + \frac{as^2}{2} + bs \right) ds, \quad (5)$$

$$-\delta = \frac{as_1^2}{2} + bs_1, \quad 0 < s_1 < S \quad \left(\equiv \varphi_3 = \varphi_2 - \delta = \varphi_2 + \frac{as_1^2}{2} + bs_1 \right), \quad (6)$$

Зміст рівнянь для кривої І

Інтегральні рівняння (1) і (2) використовуються для зв'язку координат точок $C_1(x_1, y_1)$ та $C_2(x_2, y_2)$, а рівняння (3) – для зв'язку кутів φ_1 та φ_2 . Рівняння (4) та (5) зв'язують між собою координати точок $C_2(x_2, y_2)$ і $C_3(x_3, y_3)$, рівняння (6) зв'язує кут φ_3 з кутом φ_2 .

$$C_1: \quad x_1 = r_2 + B_x + r_1 \sin \varphi_1, \quad y_1 = r_2 + B_y + r_1 \cos \varphi_1,$$

$$C_2: \quad x_2 = r_2 - r_2 \sin \varphi_2, \quad y_2 = r_2 + r_2 \cos \varphi_2,$$

$$C_3: \quad x_3 = r_2 + (t_2 + d_2) \sin(\varphi_2 - \delta), \quad y_3 = r_2 + t - (r_2 + d_2) \cos(\varphi_2 - \delta).$$

Крива II (поліном третього степеня)

Для побудови кривої використовується поліном третього степеня $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ та кути φ_1 , φ_2 , кут φ_3 дорівнює $\varphi_2 - \delta$. Невідомі коефіцієнти a , b , c і d та невідомі кути φ_1 і φ_2 є розв'язком системи шести нелінійних рівнянь.

Система рівнянь для кривої II

$$C_2: y_2 = ax_2^3 + bx_2^2 + cx_2 + d, \quad (7a) \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = 3ax_2^2 + 2bx_2 + c, \quad (7b)$$

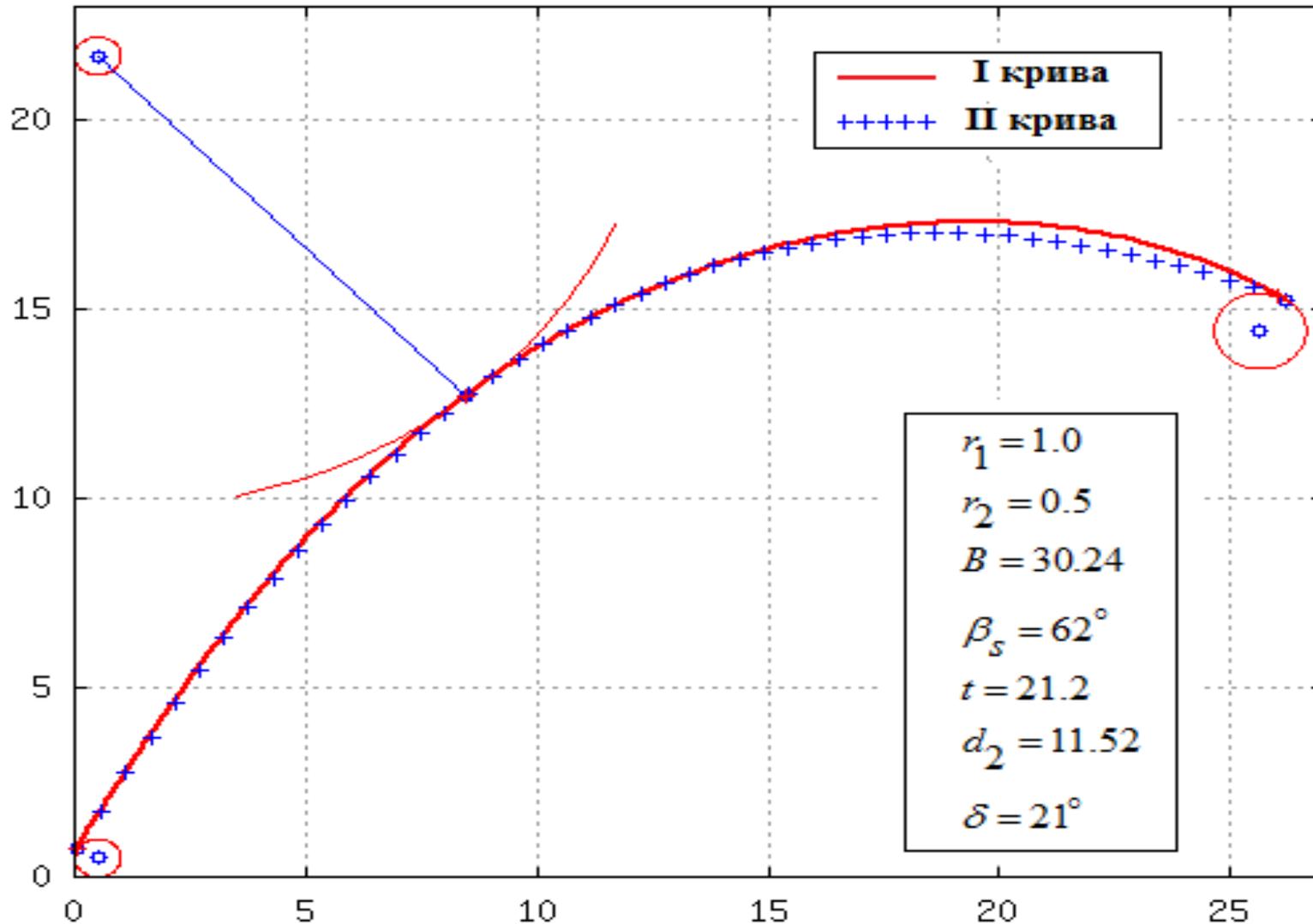
$$C_3: y_3 = ax_3^3 + bx_3^2 + cx_3 + d, \quad (8a) \quad \operatorname{tg}(\varphi_2 - \delta) = 3ax_3^2 + 2bx_3 + c, \quad (8b)$$

$$C_1: y_1 = ax_1^3 + bx_1^2 + cx_1 + d, \quad (9a) \quad \operatorname{tg}(-\varphi_1) = 3ax_1^2 + 2bx_1 + c, \quad (9b)$$

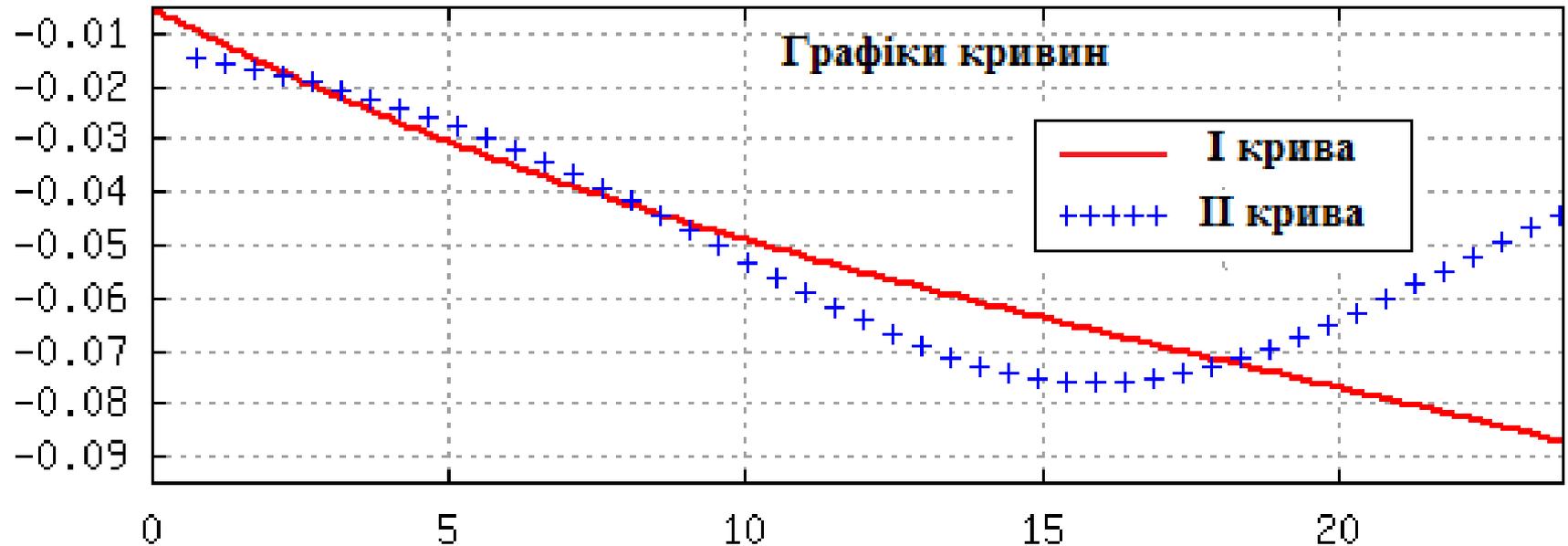
$$\delta < \varphi_2 < \frac{\pi}{2}, \quad 0 < \varphi_1 < \frac{\pi}{2}.$$

Тут нелінійні рівняння (7)–(9) визначають проходження кривої через точки $C_2(x_2, y_2)$, $C_3(x_3, y_3)$, $C_1(x_1, y_1)$, забезпечуючи в них відповідні значення похідних $\operatorname{tg} \varphi_2$, $\operatorname{tg} \varphi_3$, $\operatorname{tg}(-\varphi_1)$.

Обчислювальний експеримент



Обчислювальний експеримент



З графіків кривин видно, що у кривих відсутні точки перегину. Крива в натуральній параметризації має кращі газодинамічні властивості в силу лінійності розподілу кривини.

Висновки

- Запропоновані криві можуть бути використані для профілювання турбінних лопаток авіаційних двигунів та інших технічних профілів.
- Вони забезпечують монотонність кривини отриманого профілю, що унеможлиблює різку зміну значень кривини в профілі.
- Подібні системи можна сформулювати для інших кривих в натуральній параметризації.

Дякую за увагу!

Запитання, зауваження та пропозиції
khomiak.olha@gmail.com