

УДК 621.165
У 79

ПОБУДОВА ОБВОДІВ СПИНКИ ТА КОРИТЦЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТОК ОСЬОВИХ ТУРБІН

С. А. Устенко, доц., канд. техн. наук

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Запропоновано методику профілювання плоских перерізів лопаток осьових турбін із застосуванням елементів кривини.

Ключові слова: профілювання, спинка профілю лопатки, коритце профілю лопатки, осьова турбіна, лінійний елемент кривини, параболічний елемент кривини, кубічний елемент кривини.

Аннотация. Предложена методика профилирования плоских сечений лопаток осевых турбин с применением элементов кривизны.

Ключевые слова: профилирование, спинка профиля лопатки, корытце профиля лопатки, осевая турбина, линейный элемент кривизны, параболический элемент кривизны, кубический элемент кривизны.

Abstract. The method of profiling of flat sections of blades of axial turbines is offered with the use of elements of curvature.

Keywords: profiling, suction side of profile, pressure side of profile, axial-flow turbine, linear element of curvature, parabolic element of curvature, cubic element of curvature.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Інноваційний розвиток та підвищення ефективності паливно-енергетичного комплексу нерозривно пов'язані з пошуком шляхів удосконалення процесів, які відбуваються в теплових двигунах, зокрема в газових турбінах з осьовим напрямом течії робочої речовини.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанню профілювання плоских перерізів лопаток осьових турбін у літературі приділено достатньо уваги [1, 5, 8], хоча воно і до сьогодні цікавить проєктантів і дослідників турбомашин, вимагає розробки нових підходів до геометричного моделювання лопатних апаратів статора і ротора.

МЕТА СТАТТІ — запропонувати ефективний спосіб подання обводів спинки та уви-

гнутої частини профілю лопатки осьової турбіни із застосуванням елементів кривини [6].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідними даними для побудови плоского перерізу лопатки турбіни є осьова ширина решітки B ; кут установки профілю β_y ; кути входу β_1 і виходу β_2 потоку з решітки; радіуси закруглення вхідної r_1 та вихідної r_2 кромки профілю, кути їх загострення γ_1 і γ_2 відповідно. Також задають величину горла міжлопатного каналу a та кут відгину вихідної кромки δ . Цих даних достатньо для знаходження із застосуванням геометричних співвідношень координат п'яти точок, позначених на рис. 1 цифрами 1–5. Проводимо через точки 1, 2 і 3 плоску криву лінію, отриману із застосуванням кубічного елемента кривини [7]:

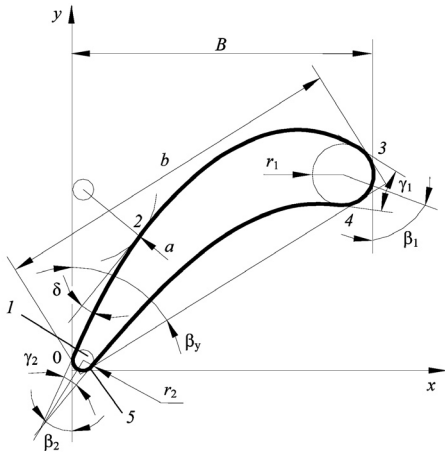


Рис. 1. Вихідні дані для профілювання лопаток осьових турбін

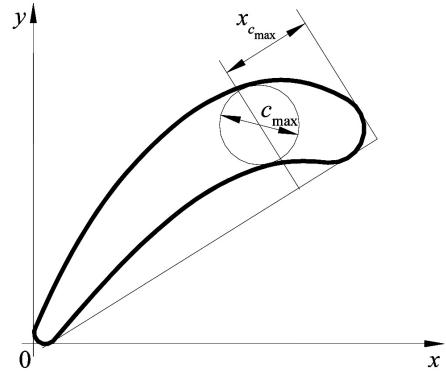


Рис. 2. Додаткові дані для профілювання лопаток осьових турбін

$$x(s) = x_1 + \int_0^s \cos\left(\varphi_1 + \frac{as^4}{4} + \frac{bs^3}{3} + \frac{cs^2}{2} + d \cdot s\right) ds; \tag{1}$$

$$y(s) = y_1 + \int_0^s \sin\left(\varphi_1 + \frac{as^4}{4} + \frac{bs^3}{3} + \frac{cs^2}{2} + d \cdot s\right) ds, \tag{2}$$

де методика отримання коефіцієнтів a, b, c, d наведена в роботі [7];

$$\varphi_1 = \frac{\pi + \gamma_2}{2} - \beta_2.$$

Кути нахилу дотичних до кривої, потрібні для обчислення коефіцієнтів кубічного

$$x(s) = x_1 - \int_0^s \sin\left(\frac{\gamma_2}{2} - \beta_2 + \frac{as^4}{4} + \frac{bs^3}{3} + \frac{cs^2}{2} + d \cdot s\right) ds;$$

$$y(s) = y_1 + \int_0^s \cos\left(\frac{\gamma_2}{2} - \beta_2 + \frac{as^4}{4} + \frac{bs^3}{3} + \frac{cs^2}{2} + d \cdot s\right) ds.$$

Після знаходження коефіцієнтів кубічного елемента кривини, за допомогою якого подається спинка профілю, приступаємо до побудови коритця профілю

$$x(s) = x_5 + \int_0^s \cos\left(\varphi_5 + \frac{as^2}{2} + bs\right) ds; \quad y(s) = y_5 + \int_0^s \sin\left(\varphi_5 + \frac{as^2}{2} + bs\right) ds,$$

де методика отримання коефіцієнтів a, b наведена в роботі [2]; $\varphi_5 = \frac{\pi - \gamma_2}{2} - \beta_2$.

Кут нахилу дотичної до кривої в точці 4, потрібний для обчислення коефіцієнтів

елемента кривини, обчислюються за такими формулами:

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \delta; \quad \varphi_3 = \frac{\pi + \gamma_1}{2} - \beta_1.$$

З урахуванням формули для обчислення кута φ_1 , формули (1) і (2) набудуть такого вигляду:

лопатки осьової турбіни. Через точки 4 і 5 проводимо плоску криву лінію, отриману із застосуванням лінійного елемента кривини:

лінійного елемента кривини, обчислюється таким чином:

$$\varphi_4 = \frac{\pi - \gamma_1}{2} - \beta_1.$$

З урахуванням формули для обчислення кута φ_5 отримаємо

$$x(s) = x_5 + \int_0^s \sin\left(\frac{\gamma_2}{2} + \beta_2 - \frac{as^2}{2} - bs\right) ds; \quad y(s) = y_5 + \int_0^s \cos\left(\frac{\gamma_2}{2} + \beta_2 - \frac{as^2}{2} - bs\right) ds.$$

У деяких випадках при профілюванні лопаток осьових турбін висуваються додаткові умови, а саме задається відносна товщина профілю \bar{c}_{\max} , що віддалена на величину $\bar{x}_{c_{\max}}$ від вхідної кромки. На рис. 2 показані ці величини в абсолютних значеннях.

Моделювання спинки профілю лопатки відбувається аналогічно наведеному вище випадку. Наступним кроком є розташування кола максимального діаметра на заданій відстані із забезпеченням його дотику до плоскої кривої лінії, якою подається спинка профілю. Ця задача розглядається в роботі [3]. У результаті її розв'язання знаходяться координати точки дотику кола максимального діаметра до спинки профілю та центра цього кола.

При моделюванні коритця профілю лопатки осьової турбіни треба забезпечити його проходження дотично до кола максимального радіуса, координати центра якого обчислені при моделюванні спинки профілю. У цьому

випадку коритце повинне пройти через три точки. Дана задача розв'язується в роботі [4].

На базі запропонованої методики геометричного моделювання профілів плоских перерізів лопаток осьових турбін розроблена програма розрахунків мовою об'єктно-орієнтованого програмування Object Pascal. Результатом її роботи є не тільки виведення координат обводів профілю у числовому вигляді, а також формування так званого script-файла, застосування якого у графічному пакеті AutoCAD дозволяє візуалізувати на екрані комп'ютера як окремі профілі, так і їх комбінації, що доцільно при зіставленні профілів, які відрізняються значенням одного з параметрів, що визначають їх форму.

На рис. 3 показані профілі, змодельовані при різних значеннях радіусів кіл вхідної (*a*) та вихідної (*б*) кромки за допомогою розробленої програми. Як свідчать ці дані, запропонований підхід до геометричного моделювання плоских перерізів лопаток осьових

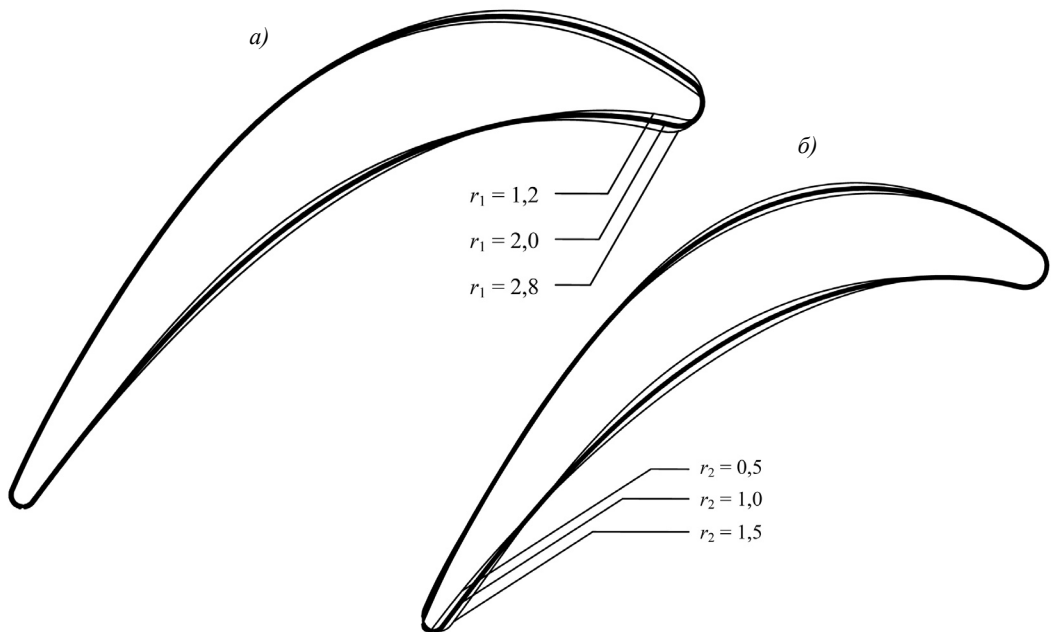


Рис. 3. Профілі, змодельовані при різних значеннях радіусів кіл вхідної і вихідної кромки

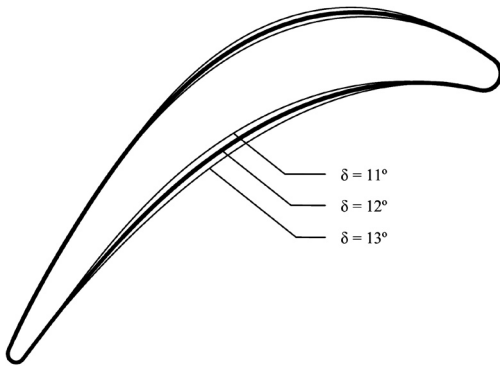


Рис. 4. Профілі, змодельовані при різних значеннях кута відгину вихідної кромки

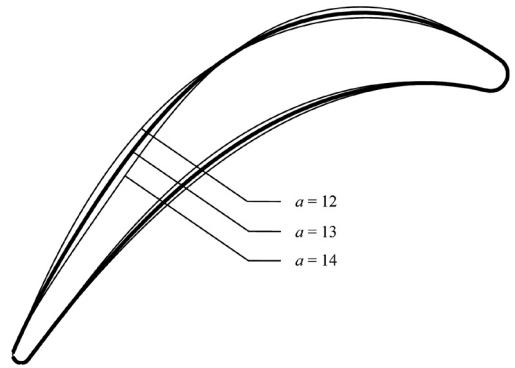


Рис. 5. Профілі, змодельовані при різних значеннях горла міжлопатного каналу

турбін дозволяє відслідковувати вплив окремих їх параметрів.

Але більш цікаві результати моделювання профілів лопаток показані на наступних рисунках, де простежується вплив параметрів, які в більшій мірі, ніж попередні, деформують обводи спинки та увігнутої частини профілю і сумісно впливають на обидва обводи.

Так, на рис. 4 і 5 наведені комбінації профілів, які побудовані при варіюванні кута відгину вихідної кромки δ та горла міжлопатного каналу a , яке вимірюється у міліметрах.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Наведені графічні результати, отримані із застосуванням розробленого програмного забезпечення, практично підтверджують працездатність запропонованого підходу до розв'язання важливої аеродинамічної задачі — профілювання плоских перерізів робочих лопаток осевих турбін. У подальшому планується використовувати розроблену методику для моделювання пера лопатки осевої турбіни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Аронов Б.М., Жуковский М.И., Журавлев В.А. Профилирование лопаток авиационных газовых турбин. — М.: Машиностроение, 1975. — 192 с.
- [2] Борисенко В.Д., Устенко С.А., Спіцин В.Є. Геометричне моделювання плоских кривих із застосуванням лінійного елемента кривини // Міжвідомчий наук.-техн. зб. «Прикладна геометрія та інженерна графіка». — К.: КНУБА, 2006. — Вип. 76. — С. 43–49.
- [3] Борисенко В.Д., Устенко С.А., Комар В.С. Побудова кола дотичного до кривої з кубічним розподілом кривини // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун-та. — Мелітополь: ТДАТУ, 2008. — Вип. 4, т. 40. — С. 21–25.
- [4] Борисенко В.Д., Устенко С.А., Комар В.С. Побудова плоскої кривої лінії з параболічним законом розподілу її кривини, дотичної до заданого кола // Вестник Херсон. нац. техн. ун-та. — Херсон: ХНТУ, 2008. — Вип. 2(31). — С. 82–87.
- [5] Копелев С.З. Проектирование проточной части турбин авиационных двигателей. — М.: Машиностроение, 1984. — 224 с.
- [6] Устенко С.А. Геометричне моделювання плоских кривих із застосуванням елементів кривини // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Х.: Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі, 2009. — Вип. 22. — С. 82–87.
- [7] Устенко С.А. Моделювання кривої із застосуванням кубічного закону розподілу її кривини // Вестник Херсон. нац. техн. ун-та. — Херсон: ХНТУ, 2008. — Вип. 2(31). — С. 480–484.
- [8] Шубенко-Шубин Л.А., Стоянов Ф.А. Автоматизированное проектирование лопаточных аппаратов тепловых турбин. — Л.: Машиностроение, 1984. — 237 с.