

УДК 621.452

ЧУТЛИВІСТЬ КУТА НАТІКАННЯ У СТУПЕНІ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА ДО ЗМІНИ УМОВ РОБОТИ

О. В. Кіслов, Д. М. Чиж

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”

Актуальність проблеми. На нерозрахункових режимах роботи осьового компресора кути натікання i (рис. 1) відхиляються від розрахункових значень. Це може спричинити нестійку роботу компресора. Найбільші відхилення у перших та останніх ступенях компресора. Тому для цих ступенів важливо передбачити заходи, які забезпечують зменшення відхилення кутів натікання від їх розрахункових значень на нерозрахункових режимах компресора. Для цього потрібно визначити чутливість кута натікання до форми трикутників швидкостей для подальшого вибору таких планів швидкостей, які забезпечують мінімальне відхилення кута натікання.

Основна задача: виявити кінематичні параметри, змінення яких викликає зміну кута натікання, та оцінити чутливість кута натікання до їх змінення з метою розробки рекомендацій для проектування перших та останніх ступенів компресора.

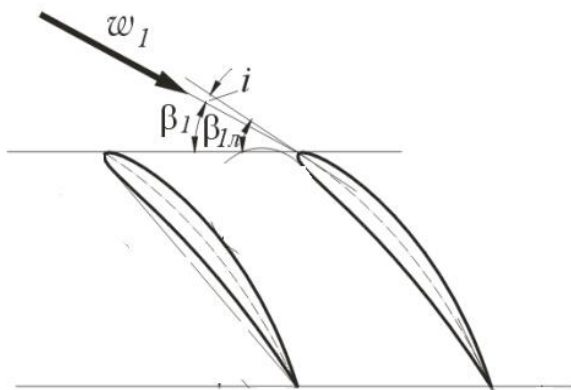


Рис. 1 – Кути на вході у компресорну решітку: i – кут натікання, β_1 – кут входу потоку, $\beta_{1л}$ – конструктивний кут входу потоку

Спосіб вирішення проблеми

З рис. 1 видно, що кут натікання i змінюється при зміні кута входу потоку β_1 , який, у свою чергу, визначається коефіцієнтом витрат $\bar{c}_a = \frac{c_a}{u}$, оскільки з трикутника швидкостей на вході у робоче колесо (рис. 2)

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_a}{u - c_u} = \frac{\bar{c}_a}{1 - \frac{c_u}{u}} = \frac{\bar{c}_a}{1 - \frac{\bar{c}_a}{\operatorname{tg} \alpha_1}}, \quad (1)$$

а кут $\alpha_1 = \text{const}$ (визначається кутом виходу потоку з нерухомої решітки, що перед робочим колесом).

Зміна режиму роботи означає змінення колової u та вісєвої c_a швидкостей, а значить і зміну коефіцієнта витрат $\bar{c}_a = \frac{c_a}{u}$, з подальшим зміненням β_1 і кута натікання i .

Для того, щоби виявити чутливість кута натікання до зміни \bar{c}_a потрібно знайти похідну $\frac{di}{d\bar{c}_a}$.

Виходячи з того, що $i = \beta_{1л} - \beta_1$,



$$\frac{di}{d\bar{c}_a} = -\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a}$$

Тобто, для дослідження можемо використовувати чутливість кута β_1 до зміни коефіцієнта витрат.

Після диференціювання (1), отримаємо:

$$\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = \frac{(1 + \operatorname{tg}\beta_1 / \operatorname{tg}\alpha_1)^2}{1 + \operatorname{tg}^2\beta_1}. \quad (2)$$

Залежність (2) представлена на рис.3 у вигляді $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = f(\beta_1)$ при різних α_1 .

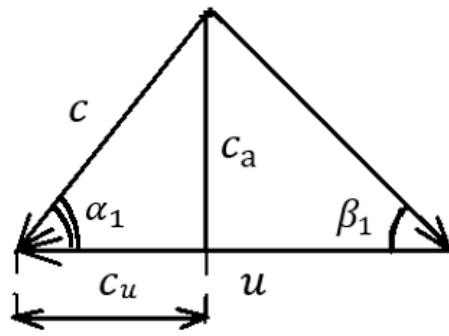


Рис. 2 – Трикутник швидкостей перед робочим колесом компресора

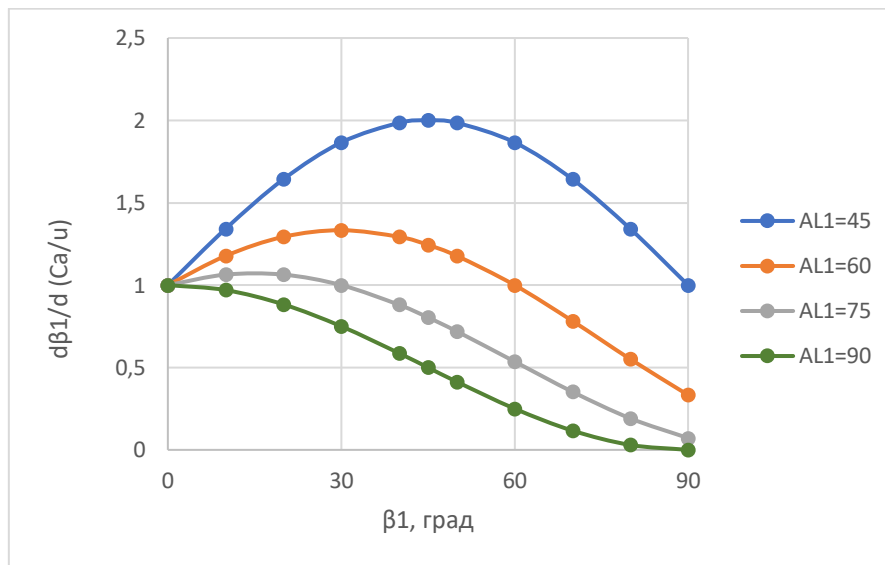


Рис. 3 – Залежність $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = f(\beta_1, \alpha_1)$

За допомогою цієї залежності зручно оцінювати вплив аеродинамічних збурень на вході (зменшення c_a на вході) та вплив змінення колової швидкості u на кут натікання. Для цього необхідно використовувати формулу:

$$\Delta i = \frac{di}{d\bar{c}_a} \Delta \bar{c}_a = -\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} \Delta \bar{c}_a. \quad (3)$$

При однаковому змінній $\Delta \bar{c}_a$ кут натікання сильніше збільшується в тих решітках, де більше $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a}$.

Для оцінки впливу режиму роботи ГТД на змінення кута натікання i зручно мати чутливість кута натікання до змінення відносного коефіцієнта витрат $\bar{c}_a = \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{ap}}$. Тут \bar{c}_{ap} – коефіцієнт витрат на розрахунковому режимі. Справа в тому, що при одному й тому ж змінній режиму для робочих решіток з різними \bar{c}_{ap} (а значить і різними β_{1p}) змінення коефіцієнта витрат $\Delta \bar{c}_a$ буде різним, а змінення відносного коефіцієнта витрат \bar{c}_a – однаковим. Наприклад, зменшення витрат



повітря на 10% при $u=const$ викликає зменшення c_a і \bar{c}_a на стільки ж відсотків, але $\Delta\bar{c}_a$, яке фігурує у формулі (3), буде різним (воно буде більшим у решітки з більшим \bar{c}_{ap}).

Оскільки $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = \frac{d\beta_1}{d(\bar{c}_a \cdot \bar{c}_{ap})} = \frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} \cdot \frac{1}{\bar{c}_{ap}}$, то

$$\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = \frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} \cdot \bar{c}_{ap}, \quad (4)$$

а
$$\frac{di}{d\bar{c}_a} = -\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = -\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} \cdot \bar{c}_{ap}. \quad (5)$$

Для визначення змінення кута натікання використовується формула:

$$\Delta i = \frac{di}{d\bar{c}_a} \Delta\bar{c}_a = -\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} \Delta\bar{c}_a = -\left(\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} \cdot \bar{c}_{ap}\right) \Delta\bar{c}_a. \quad (6)$$

Оскільки $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = f_1(\beta_1, \alpha_1)$, а з формули (1) випливає, що $\bar{c}_a = f_2(\beta_1, \alpha_1)$, то і залежність $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = f(\beta_1, \alpha_1)$. Дана залежність показана на рис.4.

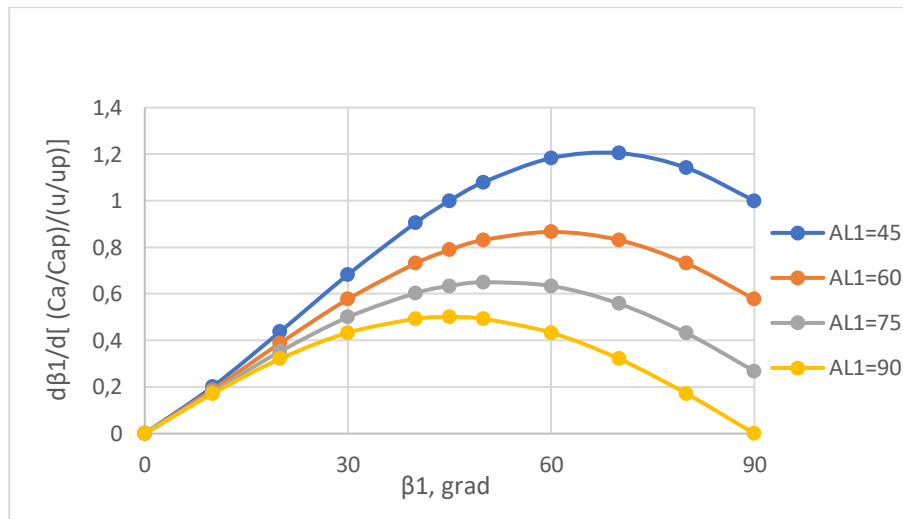


Рис. 4 – Залежність $\frac{d\beta_1}{d\bar{c}_a} = f(\beta_1, \alpha_1)$

Висновки:

1. Одержані залежності чутливості кута натікання i до зміни кінематичних параметрів робочого колеса компресора.

2. При відомому абсолютному змінні $\Delta\bar{c}_a$ для визначення Δi доцільно використовувати формули (2) та (3).

3. При відомому відносному змінні $\Delta\bar{c}_a$ для визначення Δi доцільно використовувати формули (6) та (7).