

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

СКОРИК АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ



УДК 621.515

**УНІВЕРСАЛЬНИЙ МЕТОД ПРОФІЛЮВАННЯ КАНАЛЬНИХ
ДИФУЗОРІВ ІЗ ЗАДАНИМ РОЗПОДІЛОМ ШВИДКОСТЕЙ ДЛЯ
ВІДЦЕНТРОВИХ КОМПРЕСОРІВ**

Спеціальність 05.05.14 – холодильна, вакуумна та компресорна техніка,
системи кондиціювання

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технічної теплофізики Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Калінкевич Микола Васильович,
Сумський державний університет,
доцент кафедри технічної теплофізики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Романовський Георгій Федорович,
завідувач кафедри турбін
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

кандидат технічних наук, доцент
Буданов Василь Олексійович,
декан факультету низькотемпературної техніки і
технології Інституту холоду, кріотехнологій та
екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Одеської національної академії
харчових технологій

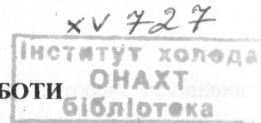
Захист відбудеться «06» жовтня 2014 р. о 12:00 в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65082, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3.

Дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65082, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3.

№ «38» серія 2014 р.

В.І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ



Актуальність теми. У технологічних схемах обладнання таких галузей промисловості, як газова, нафтова і хімічна, ключове значення мають відцентрові компресори (ВК), потужність яких може досягати десятків МВт. Зокрема, сумарна потужність компресорних станцій газотранспортної системи України складає близько 5 млн. кВт. Тому найбільш ефективно і раціональне використання енергії, що витрачається на привід ВК, є стратегічно важливим напрямом розвитку промисловості.

Широке застосування високонапірні маловитратні ВК отримали у транспортній галузі для наддуву двигунів внутрішнього згорання автомобілів, суден, тепловозів. У зв'язку із зростаючою потребою зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу, зниження питомої корисної витрати палива двигунами таких машин за рахунок підвищення ефективності ВК є актуальним завданням.

Головним чинником, що визначає ефективність роботи ВК, є газодинамічна досконалість його проточної частини. На долю дифузоров ВК доводиться приблизно третина втрат і близько половини зростання тиску в усьому компресорі. Вибір конкретного типу дифузора визначається умовами роботи і призначенням компресора. Канальні дифузори (КД) отримали широке застосування у дозвукових маловитратних ступенях, а також у навіколзвуківих високонапірних ступенях ВК.

Відкриті публікації щодо проектування КД для дозвукових течій датуються 60-ми роками минулого століття, а дані про дослідження КД для навіколзвуківих течій обмежуються, в основному, аналізом структури потоку в них. При цьому при їх проектуванні застосовуються залежності для нестисливого і нев'язкого газу, або експериментальні дані, що відповідають течії в поодиноких осесиметричних каналах. Тому створення методів проектування КД, ґрунтованих на аналізі закрученої течії стисливого газу з урахуванням ефектів в'язкості в примежовому шарі, є актуальним і практично важливим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційне дослідження виконувалося у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри технічної теплофізики Сумського державного університету (СумДУ) на тему «Дослідження робочих процесів енергетичних машин» (№ 0110U004210), а також згідно з планом науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт ПАТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе» (ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе»).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є створення універсального методу профілювання сегментів канальних дифузоров, який ґрунтується на

вирішенні зворотної задачі газодинаміки та забезпечує високу ефективність перетворення кінетичної енергії потоку в потенціальну енергію тиску.

Задачі дослідження:

1. Створити математичну модель для проектувального розрахунку форми каналів (або сегментів) КД, яка дозволяє також виконувати обчислення розподілів основних параметрів потоку уздовж каналів і визначати положення точки відриву потоку.

2. Створити методику визначення втрат в КД на нерозрахункових режимах роботи. Створити комп'ютерну програму для автоматизованого виконання проектування та розрахунків КД засобами обчислювальної техніки.

3. Провести числове дослідження різних варіантів КД, спроектованих з використанням створеного методу, з метою визначення особливостей роботи цих дифузorzів та можливостей методу.

4. Провести експериментальне дослідження моделі КД з метою підтвердження адекватності створеного методу профілювання, а також визначення особливостей течії газу в такому дифузorzі.

Об'єкт дослідження – процес течії газу в каналному дифузorzі відцентрового компресора.

Предмет дослідження – форма профілю сегментів каналного дифузorzа.

Методи дослідження: математичне моделювання; числове дослідження течії газу в КД методами обчислювальної гідрогазодинаміки; експериментальне дослідження течії газу в КД відцентрового компресора на аеродинамічному стенді.

Створення математичної моделі для розрахунку параметрів потоку і геометрії КД виконувалося з використанням класичних рівнянь механіки закрученої течії газу і напівемпіричних теорій примежового шару, точність яких підтверджується численними дослідженнями. При проведенні числового дослідження течії газу в КД враховувались загальноприйняті в компресорній практиці вимоги до розрахункової сітки і моделей течії. Експериментальне дослідження містить: вибір схеми і методики вимірювань в дифузorzі, які дозволяють отримати якнайповнішу картину течії з прийнятним рівнем громіздкості експерименту; проведення вимірювань параметрів потоку в каналах КД на різних режимах роботи компресора; обробку результатів вимірювань згідно з прийнятою методикою досліджень.

Достовірність отриманих наукових положень і результатів забезпечується: достатнім узгодженням розрахункових та експериментальних даних; використанням методики і засобів вимірювання, що забезпечують припустиму похибку експериментального визначення основних величин.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено метод профілювання каналних дифузorzів ВК, згідно з яким геометрія каналів визначається із умови забезпечення передвідриного стану примежового шару, що дозволяє підвищити ефективність дифузorzів у порівнянні з каналними дифузorzами традиційної геометрії;

- вперше розроблено методику визначення втрат в каналних дифузorzах на нерозрахункових режимах роботи, яка враховує вплив косоного зрізу на розподіл швидкостей в дифузorzі, що дозволяє обчислювати значення коефіцієнтів втрат з достатньою точністю;

- вперше отримані розподіли повних тисків в каналі дифузorzа на різних режимах, на підставі яких зроблені висновки про причини і розподіл втрат в каналному дифузorzі.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено комп'ютерну програму на основі запропонованої математичної моделі, яка дозволяє виконувати автоматизоване проектування ефективних каналних дифузorzів відцентрових компресорів для широкого діапазону вихідних даних, визначати втрати в них, а також виконувати обчислення теоретичного положення точки відриву потоку;

- на основі результатів числового та експериментального досліджень надані рекомендації щодо більш ефективного проектування та застосування каналних дифузorzів;

- отримано експериментальні дані про структуру потоку в КД, які дозволяють корегувати розрахункові моделі течії в КД;

- результати дисертаційної роботи у вигляді методик проектування та розрахунку каналних дифузorzів, а також комп'ютерної програми впроваджені на промисловому підприємстві ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе» і в навчальному процесі СумДУ, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах [1, 7] здобувачем удосконалено методику розрахунку течії в каналах турбокомпресорів з урахуванням примежового шару. У роботах [2, 4, 10, 11, 13] автор приймав участь при створенні математичної моделі для профілювання каналних дифузorzів та виконав проектування КД для дослідження на аеродинамічному стенді. У роботах [3, 7, 8, 9, 12] здобувачем виконано числові розрахунки течії газу в елементах проточної частини ВК та проаналізовано характер течії в них. У роботах [6, 8, 9, 14, 15] запропонував методику експериментального дослідження дифузorzів, провів випробування, виконав обробку отриманих даних та приймав участь при аналізі результатів експериментального

дослідження і зіставленні їх с теоретичними даними. Робота [5] виконана самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях: Всеукраїнські науково-технічні конференції молодих учених і студентів «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології» (м. Одеса, Україна, 2011 і 2013 рр.); Науково-технічні конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем і енергоефективних технологій СумДУ «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, Україна, 2011 і 2013 рр.); VII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (м. Одеса, Україна, 2011 р.); XIII Міжнародна конференція «HERVICON-2011», Міжнародний форум «PUMPS-2011» (м. Суми, Україна, 2011 р.); Конференція молодих учених і студентів присвячена 90-річчю Одеської державної академії холоду «Сталий розвиток і штучний холод» (м. Одеса, Україна, 2012 р.); II Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, Україна, 2012 р.); Міжнародна конференція 8th IIR International Conference on Compressors and Coolants «Compressors 2013» (Паперничка, Словачька Республіка, 2013 р.); Міжнародна конференція 8th International Conference on Compressors and their Systems (м. Лондон, Великобританія, 2013 р.).

Публікації. Основні результати дисертації відображені у 9 статтях, 5 із яких опубліковані у фахових виданнях, затверджених Міністерством освіти і науки України, 1 – у зарубіжному журналі, що входить до наукометричної бази Scopus [4], та 3 – у збірниках праць міжнародних конференцій (з них 1 [9] реферується Scopus). Результати дисертації додатково відображені у 6 тезах доповідей.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 156 сторінок. Робота містить 78 рисунків, 10 з яких – на окремих аркушах, 6 таблиць по тексту, список використаних джерел із 98 найменувань на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, відображено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету та задачі дослідження, відмічено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, представлено інформацію про апробацію результатів дослідження, публікації за темою дисертації і особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено огляд науково-технічних публікацій, пов'язаних з проектуванням і характеристиками каналних дифузorzів ВК. Окремий підрозділ присвячено даним по дослідженню структури потоку в КД.

Аналіз існуючих підходів до проектування каналних дифузorzів показав, що на сьогоднішній день проектування КД здійснюється з використанням даних по експериментальному дослідженню поодиноких симетричних дифузorzів з прямими стінками з рівномірним розподілом параметрів потоку на вході, характер течії в яких не відповідає особливостям течії у ВК. При проектуванні КД не застосовувалися методи, які базуються на вирішенні зворотної задачі газодинаміки і які враховують особливості течії у ВК. Значний вплив на структуру потоку в каналах КД має початковий стан примежового шару, який залежить від особливостей роботи робочого колеса і геометрії вхідної ділянки дифузorzа. Це свідчить про важливість застосування методів проектування, які враховують особливості в'язкої закрученої течії.

На підставі виконаного огляду літератури сформульовано мету і задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі наведено основні положення методу профілювання каналних дифузorzів з умови передвідривного стану примежового шару на передній поверхні сегментів (рис. 1). Представлено методику визначення втрат в КД. Наводиться приклад застосування методу для проектування каналного дифузorzа модельного ступеня відцентрового компресора для експериментального дослідження на аеродинамічному стенді. Також представлено результати числового дослідження різних варіантів каналних дифузorzів, спроектованих згідно зі створеним методом.

При розробці методу профілювання прийнята фізична модель течії з наступними припущеннями: течія стисливого газу в каналах дифузorzа стаціонарна, адіабатна, безвідривна; розподіл параметрів потоку на вході в дифузorz рівномірний; область течії в каналах дифузorzа умовно розділена на невязке ядро потоку і в'язкий примежовий шар, вплив якого враховується при визначенні кінцевої геометрії сегментів.

Така схема течії при використанні інтегральних залежностей для розрахунку параметрів газу в ядрі потоку, а також напівемпіричних теорій для розрахунку примежового шару, дозволяє виконувати проектування



Рисунок 1 – Схема каналного дифузorzа

за достатньо короткий час без необхідності застосування потужної комп'ютерної техніки, а також громіздких програмних комплексів.

Зміна моменту імпульсу потоку газу з масовою витратою \bar{m} на ділянці дифузора, починаючи від вхідної кромки сегментів:

$$\Delta M = \bar{m} \cdot (r_{ax} \cdot c_{ax} \cdot \cos \alpha_{ax} - r \cdot c \cdot \cos \alpha), \quad (1)$$

де c_{ax} , α_{ax} – абсолютна середня швидкість та середній кут потоку біля вхідної кромки; c , α – поточні значення абсолютної середньої швидкості і середнього кута потоку.

Момент сил, що діють на z_c сегментів із боку течії, відносно осі дифузора можна записати у наступному вигляді:

$$M = b \cdot z_c \cdot \int_{r_m}^r \Delta p \cdot r \cdot dr, \quad (2)$$

де $\Delta p = (p_{пер} - p_{зад})$ – різниця тисків на передній і задній поверхнях сегментів на радіусі r ; b – ширина дифузора.

Згідно з теоремою про зміну моменту кількості руху зміна моменту імпульсу в рівнянні (1) дорівнює моменту зовнішніх сил, що діють на течію із боку сегментів на заданій ділянці, а отже рівняння (1) і (2) рівні між собою:

$$\bar{m} \cdot (r_{ax} \cdot c_{ax} \cdot \cos \alpha_{ax} - r \cdot c \cdot \cos \alpha) = b \cdot z_c \cdot \int_{r_m}^r \Delta p \cdot r \cdot dr. \quad (3)$$

Рівняння нерозривності записується у вигляді:

$$\bar{m} = c_r \cdot \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot b \cdot \tau, \quad (4)$$

де c_r – радіальна складова абсолютної швидкості, ρ – густина газу, τ – коефіцієнт стиснення потоку сегментами дифузора.

Рівняння (3) і (4) складають систему рівнянь, розв'язання якої дозволяє отримати форму профілю сегментів КД. З урахуванням газодинамічних функцій вона може бути записана у наступній формі:

$$\begin{cases} r_{ax} \cdot \lambda_{ax} \cdot \cos \alpha_{ax} - r \cdot \lambda \cdot \cos \alpha = \frac{b \cdot z_c \cdot p_{ax} \cdot \sigma}{\bar{m} \cdot a_{кр}} \cdot \int_{r_m}^r [\pi(\lambda_{пер}) - \pi(\lambda_{зад})] \cdot r \cdot dr, \\ \bar{m} = \lambda \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot a_{кр} \cdot \rho^* \cdot 2\pi \cdot r \cdot b \cdot \tau \cdot \sin \alpha, \end{cases} \quad (5)$$

де $\lambda = \frac{c}{a_{кр}}$ – коефіцієнт швидкості; $a_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT^*}$ – критична швидкість звуку;

$\pi(\lambda) = \frac{p}{p^*} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$, $\varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho^*} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$ – газодинамічні функції

тиску та густини відповідно; $\sigma = 1 - (1 - \sigma_{max}) \cdot \frac{r - r_{ax}}{r_{max} - r_{ax}}$ – функція дисипації

повного тиску, в якій $\sigma_{max} = p_{max}^* / p_{ax}^*$.

На передній поверхні сегментів задається закон зміни швидкості для передвідривного стану турбулентного примежового шару, отриманий М. В. Калінкевичем у наступному вигляді:

$$\lambda_{пер} = \lambda_1 \cdot \left[1 + \frac{(\bar{l} - \bar{l}_1) \cdot (2 + H_s) \cdot (-f_s)}{\delta_1^{**}} \right]^{\frac{1}{2+H_s}}, \quad (6)$$

де H_s , f_s – формпараметри примежового шару, які відповідають точці виникнення відриву; $\bar{l} = l/L$ – координата уздовж поверхні сегмента, віднесена до довжини середньої лінії сегмента; $\delta^{**} = \delta^{**}/L$ – товщина втрати імпульсу, віднесена до довжини середньої лінії сегмента. Параметри на незначній відстані від вхідної кромки, позначені індексом "1", виконують роль коефіцієнтів, значення яких впливають на розподіл швидкості кількісно.

Також задається лінійний закон зміни тиску в окружному напрямку в каналі і лінійний закон зміни середнього кута потоку уздовж каналів $\alpha = f(r)$. Тоді в результаті вирішення системи рівнянь (5) визначається зміна середньої швидкості потоку і коефіцієнта стиснення уздовж радіусу дифузора. Розрахунок виконується з використанням числових методів.

Коефіцієнт стиснення потоку задається у наступному вигляді:

$$\tau = 1 - \frac{\delta' \cdot z_c}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sin \alpha}, \quad (7)$$

де $\delta' = \delta_c + \sum \delta^*$ – умовна товщина сегмента (визначає товщину сегменту дифузора за умови обтікання його нев'язким потоком); δ_c – товщина сегмента; $\sum \delta^*$ – сумарна товщина витіснення примежових шарів на задній і передній поверхнях сегмента.

Розрахунок характерних товщин примежового шару на поверхнях сегментів виконується на основі розподілів швидкостей згідно з методом Л.Г. Лойцянского:

$$\delta^{**} = 0,0159 \cdot Re^{-0,15} \cdot \lambda^{-3,55} \cdot \left(\int_0^L \lambda^4 dl \right)^{0,85}, \quad \delta^* = \delta^{**} \cdot H, \quad (8)$$

де значення формпараметра H приймаються від 1,1 для безвідривної течії до 2,8 для потоку близького до відриву.

Після розрахунку товщин витіснення примежових шарів в каналі визначається товщина сегментів дифузора з формули (7).

Кінцевим результатом проектувального розрахунку є отримання залежності $\delta_c = f(r)$. Прийнявши кут нахилу середньої лінії сегментів рівним середньому куту потоку ($\alpha_c = \alpha$), маємо повністю задану форму сегментів КД.

Оцінка відриву потоку на поверхнях сегментів проводиться за допомогою формпараметра

$$f = \frac{\delta^{**}}{c} \cdot \frac{dc}{dl} \cdot \left(\frac{c \cdot \delta^{**}}{v} \right)^{\frac{1}{6}}. \quad (9)$$

Критерієм відриву є значення формпараметра $f_s = -0,02$.

Визначення втрат в КД виконується на основі розрахунку примежового шару, що здійснюється з урахуванням розподілів швидкостей в дифузорі.

Втрати повного тиску в каналі дифузора, обумовлені тертям та змішуванням потоку, визначаються за формулою

$$\zeta_{\kappa} = \frac{\left(\frac{\sum \delta_{вих}^*}{W \cdot \sin \alpha_{вих}} \right)^2 + \frac{2 \cdot \sum \delta_{вих}^{**}}{W \cdot \sin \alpha_{вих}} \cdot \left(\frac{\sin \alpha_{вих}}{\sin \alpha_{вих}} \right)^2}{\left(1 - \frac{\sum \delta_{вих}^*}{W \cdot \sin \alpha_{вих}} \right)^2} \quad (10)$$

де $\sum \delta_{вих}^*$ та $\sum \delta_{вих}^{**}$ - відповідно сумарні товщини витіснення та втрати імпульсу на задній і передній поверхнях сегмента на виході із КД; W - окружна відстань між передньою та задньою поверхнями сегментів на виході із КД.

Втрати повного тиску, обумовлені падінням статичного тиску за вихідними кромками кінцевої товщини (кромкові втрати), визначаються за формулою

$$\zeta_{кр} = -C_{p,кр} \cdot \frac{\frac{\delta_{c,вих}}{\sin \alpha_{вих}}}{\left(W + \frac{\delta_{c,вих}}{\sin \alpha_{вих}} \right)} \quad (11)$$

де $C_{p,кр} = \frac{P_{кр} - P_{я}}{0,5 \rho_{я} c_{я}^2}$ - коефіцієнт, що враховує різницю тисків за вихідною кромкою та у ядрі потоку; $\delta_{c,вих}$ - товщина вихідної кромки. Значення коефіцієнта $C_{p,кр}$ приймаються у межах $(-0,1 \div 0,25)$ з урахуванням експериментальних даних.

Сумарні втрати в дифузорі визначаються наступним чином:

$$\zeta_{сум} = \zeta_{\kappa} + \zeta_{кр} \quad (12)$$

Методика розрахунку втрат в КД на нерозрахункових режимах. На нерозрахункових режимах роботи характер розподілів швидкостей та рівень втрат в КД змінюються порівняно з розрахунковим. Це обумовлено натіканням потоку при кутах атаки i_3 , відмінних від 0° . Згідно з результатами експериментального дослідження КД (розділ 4), при позитивних кутах атаки відхилення потоку (та підвищення тиску) здійснюється головним чином на ділянці косою зрізу, а при негативних - рівномірно за всю довжину дифузора. Такі особливості роботи КД можливо врахувати задаючи зміну середнього кута потоку уздовж каналів відповідно до режиму.

При визначенні розподілів швидкостей в КД на нерозрахункових режимах зміна середнього кута потоку на ділянці косою зрізу задається за формулою:

$$\alpha_{\alpha_{кз}} = \alpha_{\alpha_{кз}} + (\alpha_{кз}^c - \alpha_{\alpha_{кз}}) \cdot \frac{r_i - r_{\alpha_{кз}}}{r_{кз} - r_{\alpha_{кз}}} \quad (13)$$

де $\alpha_{\alpha_{кз}}$ - вхідний кут потоку для даного режиму; $\alpha_{кз}^c$ - кут нахилу середньої лінії сегментів на радіусі закінчення ділянки косою зрізу $r_{кз}$. Таким чином, згідно з формулою (13) різниця кутів потоку ($\alpha_{кз} - \alpha_{\alpha_{кз}}$), а отже і підвищення тиску, на ділянці косою зрізу при позитивних кутах атаки збільшується відносно розрахункового режиму, а при негативних - зменшується, що відповідає дійсній структурі течії в КД.

На ділянці за косим зрізом кути потоку приймаються рівними кутам нахилу середньої лінії сегментів.

Розподіл кутів потоку за формулою (13) використовується при визначенні середньої швидкості на нерозрахункових режимах КД з рівняння нерозривності. Після чого з рівняння (3) визначається різниця тисків Δp на кожному r_i , що дає змогу визначити розподіли швидкостей уздовж поверхонь сегментів. На основі розподілів швидкостей виконується розрахунок товщин примежового шару за формулами (8) і визначаються втрати за формулами (10) - (12).

Числове дослідження. У програмному комплексі ANSYS CFX виконано розрахунок різних варіантів КД, спроектованих з використанням запропонованого методу. Це дозволило встановити переваги цих дифузорів та особливості їх роботи.

Виконано порівняння характеристик традиційного КД, спроектованого С. П. Лівшицем, та КД, профіль якого отримано за допомогою наведеного методу. Дифузори мають однакові характерні геометричні розміри ($r_3 = 253$ мм, $r_4 = 358$ мм, $b_3 = b_4 = 20$ мм, початкова товщина сегментів $\delta_{c,вих} = 7$ мм, $z_c = 14$, $\alpha_{вих} = 14^\circ$, $\alpha_{вих} = 44^\circ$), але різні профілі сегментів (рис. 2а). Характеристики цих дифузорів, отримані в ANSYS CFX, наведено на рис. 2б.

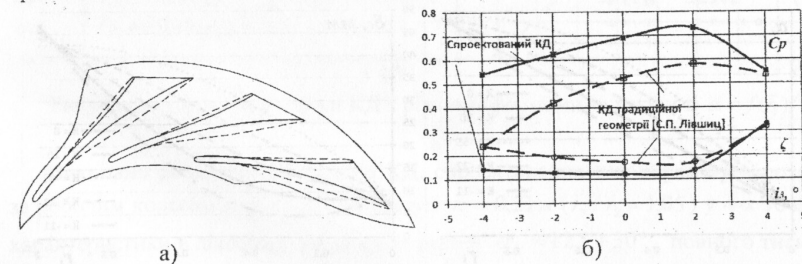


Рисунок 2 - Профілі і характеристики КД традиційної геометрії (штрихова лінія) та спроектованого з використанням наведеного методу (суцільна лінія)

Спроекований КД має більшу ефективність, ніж традиційний, практично на усіх режимах. На розрахунковому режимі ($i_3 = \alpha_{кз} - \alpha_3 = 0^\circ$) для цього

дифузора значення коефіцієнта відновлення статичного тиску $C_p = \frac{P_{вих} - P_{ax}}{P_{ax}^* - P_{ax}}$

вище на 32%, а коефіцієнта втрат повного тиску $\zeta = \frac{P_{ax}^* - P_{вих}^*}{P_{ax}^* - P_{ax}}$ – нижче на 30%.

При негативних кутах атаки ($i_3 < 0^\circ$) втрати в спроектованому КД зменшуються майже у 2 рази у порівнянні з традиційним, при позитивних – різниця значень коефіцієнтів C_p і ζ для цих дифузorzів менш значна.

Форма розподілу швидкостей (6) обумовлює інтенсивне гальмування потоку на початковій ділянці дифузора ($\bar{r}_i = \frac{r_i - r_{ax}}{r_{вих} - r_{ax}} = 0 + 0,3$), тому товщина профілю сегментів на цій ділянці майже не змінюється. Для забезпечення передвідривного стану примежового шару далі уздовж потоку товщина сегментів збільшується. Такий підхід до профілювання забезпечує більш високу (теоретично максимально можливу для заданих розмірів меридіонального контуру) дифузорність каналів, ніж традиційні методи проектування, що наглядно відображено на рис. 2. Однак збільшення дифузорності приводить до більш раннього виникнення відриву потоку і зростанню втрат при $i_3 > 0^\circ$. Зокрема, в спроектованому КД втрати стрімко збільшуються при $i_3 = 4^\circ$.

Виконано дослідження впливу форми розподілу кутів потоку уздовж каналів, який задається, на характеристики КД. Квадратичний закон розподілу кутів потоку задається у вигляді

$$\alpha = \alpha_{ax} + (\alpha_{вих} - \alpha_{ax}) \cdot \bar{r}_i - K \cdot (\bar{r}_i - \bar{r}_i^2), \quad (13)$$

де K – коефіцієнт, що впливає на форму квадратичної залежності. Якщо $K > 0$, то розподіл кутів має увігнуту форму, а при $K < 0$ – опуклу (рис. 3а).

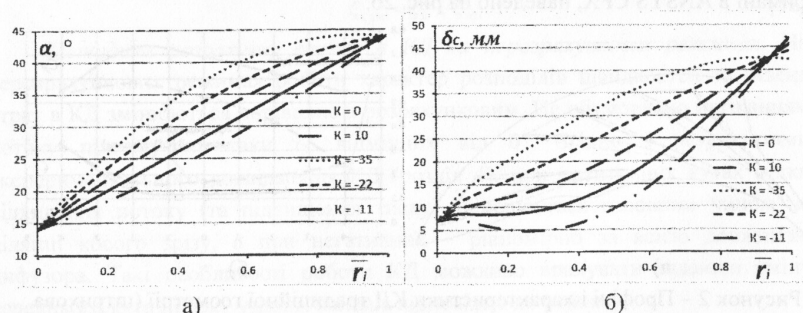


Рисунок 3 – Розподіли середнього кута потоку та товщини сегментів для різних варіантів КД

За $K > 0$ товщина сегментів на початковій ділянці зменшується відносно товщини на вході (рис. 3б). Такі дифузори не є технологічними з точки зору виготовлення. Також характеристики цього дифузора гірші, ніж КД з лінійним розподілом ($K = 0$).

Дифузори з $K < 0$ є більш ефективними відносно КД з $K = 0$ при негативних кутах атаки (рис. 4). У дифузorzі, в якому графік розподілу кутів має незначну опуклість ($K = -11$), на розрахунковому режимі величина коефіцієнту C_p вища на 6 % відносно КД з лінійним розподілом. При зменшенні кута атаки різниця значень C_p для цих КД досягає 11 %. Втрати в дифузorzі з $K = -11$ менші, ніж у КД з $K = 0$, при $i_3 = -2^\circ$ на 5%, а при $i_3 = -4^\circ$ – на 8%.

Дифузorz з $K = -22$ має пологі характеристику C_p , але високі втрати на розрахунковому режимі та при $i_3 > 0^\circ$.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що вибір закону розподілу кутів потоку уздовж каналів слід виконувати з урахуванням режимів, на які доводиться основний час експлуатації КД. За відсутності подібних вимог, можна рекомендувати використання КД з лінійним розподілом кутів потоку, тому що в такому дифузorzі забезпечується більш стійка робота при позитивних кутах атаки, а при негативних – значення коефіцієнтів C_p та ζ відрізняються незначною мірою від КД з $-22 < K < 0$.

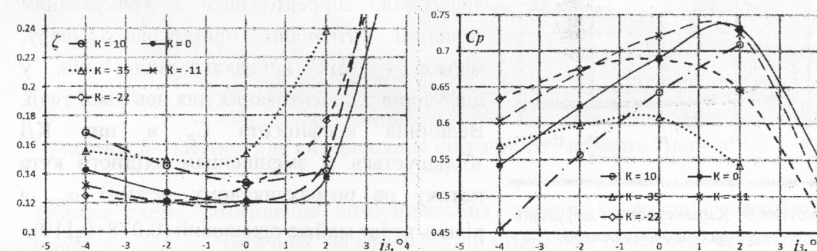


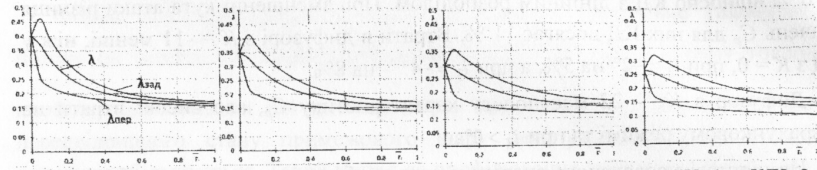
Рисунок 4 – Характеристики КД з різними формами залежності $\alpha = f(\bar{r}_i)$

Виконано розрахунок варіантів КД, спроектованих для параметрів потоку за робочим колесом із $\beta_{a2} = 32^\circ$ на радіусі $r_3 = 0,21$ м ($r_3 / r_2 = 1,05$) у 4-х точках характеристики в діапазоні зміни кутів потоку $\alpha_3 = 12,1 \div 30^\circ$, повного тиску - $p_3^* = 122 \div 113$ кПа, масової витрати - $\dot{m} = 0,882 \div 1,635$ кг/с.

Для кожного набору вихідних даних спроектовано по 2 варіанти КД, для яких застосовувалися різні підходи до проектування. У першому випадку (дифузори КД7_1, КД5_1, КД4_1, КД3_1) течія приймалася нев'язкою, у

другому - враховувалося стиснення потоку примежовим шаром (дифузори КД7_2, КД5_2, КД4_2, КД3_2).

Теоретичні розподіли швидкостей, які використовуються для проектування, зображено на рис. 5. У випадку проектування КД для малих значень кута $\alpha_{вх}$, навантаження на сегменти зміщується до входу в дифузор, що призводить до зменшення товщини сегментів на цій ділянці. Із зростанням $\alpha_{вх}$ навантаження розподіляється більш рівномірно за всією довжиною дифузора.



а) КД7_1 та КД7_2 б) КД5_1 та КД5_2 в) КД4_1 та КД4_2 г) КД3_1 та КД3_2
Рисунок 5 - Проектувальні розподіли швидкостей в каналах дифузорів уздовж відносного радіусу \bar{r}

Для кожного КД визначено значення коефіцієнтів C_p і ζ на розрахунковому режимі (рис. 6).

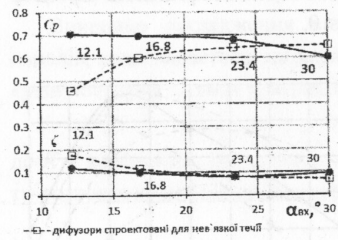


Рисунок 6 - Характеристики дифузорів на розрахунковому режимі

Встановлено, що ефективність дифузорів, спроектованих з урахуванням товщини витіснення примежового шару, майже у всіх випадках вище, ніж у дифузорів, спроектованих для невязкої течії. Величина коефіцієнта C_p в цих КД збільшується зі зменшенням вхідного кута потоку на розрахунковому режимі $\alpha_{вх}$, а рівень втрат майже однаковий ($0,078 \div 0,119$).

У третьому розділі наведено опис експериментального обладнання, схему вимірювань, методику обробки результатів вимірювань і оцінку похибок експерименту.

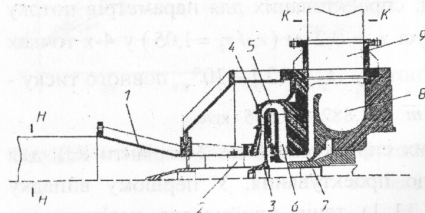


Рисунок 7 - Схема експериментальної установки

Розроблено конструкцію каналного дифузора для експериментального дослідження у складі модельного ступеня ВК на аеродинамічному стенді з метою апробації запропонованого методу профілювання КД, а також для

отримання даних про структуру потоку в таких дифузорах.

Схема експериментальної установки зображена на рис. 7. Установка містить проміжний ступінь ВК, який складається з робочого колеса 3, каналного дифузора 4, поворотного коліна 5, зворотно-напрямого апарату 6. Також до складу установки входять: конфузор 1, осьовий підвід кільцевого перерізу 2, перевідний канал 7, вихідна збирна камера 8, нагнітальний патрубков 9.

Дифузор має наступні геометричні параметри: кількість сегментів (каналів) $z_3 = z_c = 17$, діаметр вхідних кромки сегментів $D_3 = 524,4$ мм ($\bar{D}_3 = D_3 / D_2 = 1,14$), діаметр вихідних кромки сегментів $D_4 = 618,4$ мм ($\bar{D}_4 = D_4 / D_2 = 1,344$), ширина дифузора $b_3 = 15,5$ мм ($\bar{b}_3 = b_3 / D_2 = 0,0337$), вхідний кут сегментів $\alpha_{c,3} = 22^\circ$, вихідний кут сегментів $\alpha_{c,4} = 37^\circ$. В дифузорі виконані отвори для вимірювання статичного тиску на поверхнях сегментів та на стінці дифузора уздовж середньої лінії каналу, а також отвори на стінці для траверсування потоку трубками повного тиску уздовж поверхонь сегментів і середньої лінії (рис. 8).

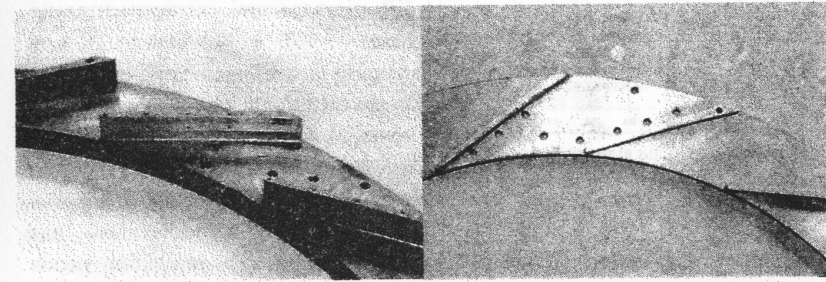


Рисунок 8 - Отвори для вимірювання статичного і повного тиску в КД

Обрана схема розміщення вимірювальних отворів і приладів дозволяє отримати розподіли статичних тисків на задній і передній поверхнях сегментів; отримати розподіл статичних тисків на середній лінії каналу; визначити інтегральні характеристики дифузора; отримати розподіл повного тиску в каналі дифузора.

Для визначення втрат в каналі дифузора заміри повного та статичного тисків виконувалися у точках, зазначених на рис. 9а. Для визначення сумарних втрат (з урахуванням кромкових) заміри виконувались за схемою рис. 9б.

Оцінка похибок обчислюваних величин показала, що вживана методика експериментального дослідження дозволяє отримати достовірні результати з достатньою для газодинамічних досліджень точністю. Відносна похибка визначення абсолютних статичного та повного тисків не перевищує 0,1 %, а

відносна похибка визначення коефіцієнта втрат в діапазоні значень $\zeta = 0,04 \div 0,3$ складає $2 \div 15$ %.

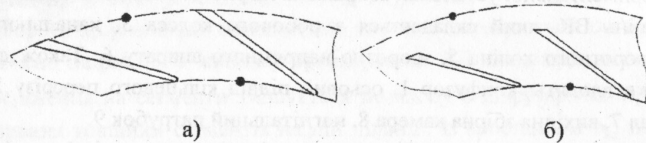


Рисунок 9 – Розташування точок вимірювання повного та статичного тисків

У четвертому розділі представлено результати експериментального дослідження спроектованого каналного дифузора, а також виконано зіставлення розрахункових і експериментальних даних.

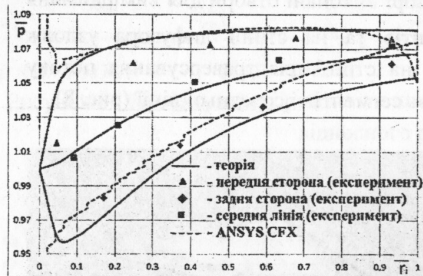


Рисунок 10 - Розподіл відносних статичних тисків уздовж поверхонь сегментів на розрахунковому режимі

Розподіли тисків, що задаються при проектуванні, уздовж середньої лінії і уздовж поверхонь сегментів КД підтвержені експериментально (рис. 10). Розбіжність між теоретичними і експериментальними значеннями тисків у відповідних точках не перевищує 2 %. Отже, представлений в роботі метод дозволяє виконувати профілювання сегментів КД з достатньою для

інженерних розрахунків точністю. При цьому розрахункові розподіли тисків можуть бути використані для якісної і кількісної оцінки структури потоку в дифузори, що важливо на стадії проектування.

Експериментально отримано розподіли тисків в каналі дифузора для усього діапазону режимів роботи компресора. Зокрема, на рис. 11а зображено розподіли відносних статичних тисків уздовж середньої лінії каналу при різних значеннях умовного коефіцієнта витрати $\Phi_0 = \frac{4\pi}{\rho_0 \cdot u_2 \cdot \pi \cdot D_2^2}$. Зростання тиску на безлопатковій ділянці перед вхідними кромками відбувається більш інтенсивно зі збільшенням витрати. Це може бути пов'язано з тим, що потік на виході з робочого колеса однорідніший при великих витратах. Тому перетворення швидкісного напору в тиск відбувається більш ефективно при невисокому рівні втрат енергії, пов'язаних з вирівнюванням потоку.

На роботу КД на нерозрахункових режимах значно впливає характер течії на ділянці косою зрізу та стиснення потоку примежовим шаром на цій ділянці. Зі збільшенням кута атаки в позитивному напрямі (тобто зі зменшенням Φ_0

відносно Φ_{0p}) доля зростання тиску в косому зрізі відносно сумарного підвищення тиску в КД становиться більш значною. При негативних кутах атаки зростання тиску відбувається рівномірно по всій довжині КД. На ділянці косою зрізу на таких режимах тиск зростає несуттєво, проте, за рахунок більш тонкого примежового шару на початковій ділянці, подальше гальмування потоку відбувається ефективніше, ніж при позитивних кутах атаки.

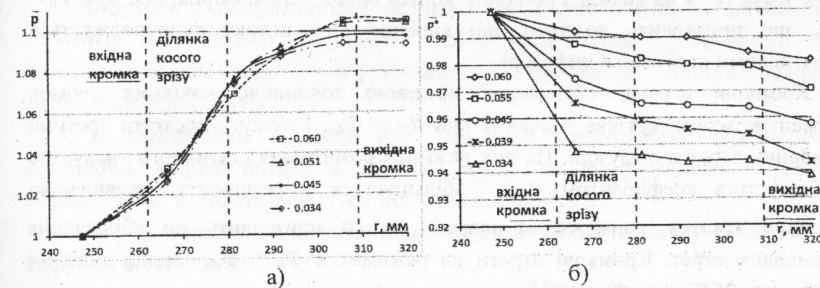


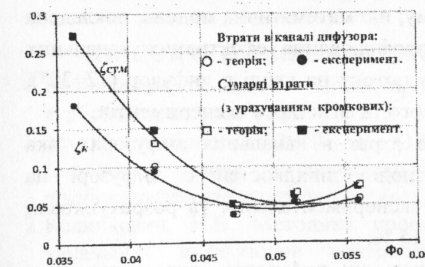
Рисунок 11 – Розподіли відносного статичного тиску (а) та відносного повного тиску (б) на середній лінії каналу уздовж радіуса КД для різних значень умовного коефіцієнту витрати Φ_0

Відношення початкового і кінцевого тисків в дифузори також збільшується зі збільшенням витрати. Зростання тиску за вихідними кромками практично не відбувається.

Значне падіння повного тиску (на 1-5 %) відбувається на безлопатковій ділянці перед дифузори, причому тим значніше, чим менше масова витрата (рис. 11б). Це обумовлено головним чином зменшенням «струменів» і «слідів», які утворюються за робочим колесом.

Падіння повного тиску в каналах дифузора близько 1 % практично для усіх режимів роботи компресора, що говорить про високу ефективність профілів сегментів. Збільшення втрат в КД відбувається також у результаті зменшення «слідів» за вихідними кромками сегментів. Падіння повного тиску в результаті цього в середньому для усіх режимів складає близько 1 %.

Рисунок 12 – Характеристики втрат в КД, отримані для різних ділянок



Експериментальні та теоретичні характеристики втрат, отримані для різних ділянок КД, наведено на рис. 12.

Розбіжність експериментальних та теоретичних значень коефіцієнтів втрат ζ_k , $\zeta_{ст.м}$ для всіх режимів роботи не перевищує 15 %. Найменші втрати КД має на близькому до розрахункового режимі з $\Phi_{ор} \approx 0,047$. Зі зменшенням масової витрати газу $\Phi_0 < \Phi_{ор}$ втрати збільшуються більш інтенсивно, ніж при збільшенні. Це обумовлено тим, що на таких режимах гальмування потоку відбувається з великим градієнтом, що сприяє зростанню примежового шару і відриву потоку. Також за даними експериментального дослідження на режимах з $\Phi_0 < \Phi_{ор}$ течія на виході з робочого колеса більш нерівномірна, ніж при $\Phi_0 > \Phi_{ор}$, що призводить до того, що вирівнювання потоку супроводжується додатковими втратами в дифузори.

Кромкові втрати, обумовлені кінцевою товщиною вихідних кромки сегментів, мають суттєве значення при $\Phi_0 < \Phi_{ор}$, і можуть досягати третини сумарних втрат в дифузори. На цих режимах розрізнення статичного тиску, що враховується коефіцієнтом $C_{р,кр}$, збільшується у результаті «утовщення» вихідної кромки примежовим шаром, що й призводить до збільшення кромкових втрат. Кромкові втрати на режимах з $\Phi_0 > \Phi_{ор}$ менш значні і досягають 26 % при $\Phi_0 \approx 0,056$.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У роботі вирішена задача створення універсального методу профілювання каналних дифузоровідцентрових компресорів.

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

1. Експериментально підтверджені розподіли тисків, що задаються при профілюванні каналних дифузоровідцентрових компресорів з використанням створеного методу. Розбіжність експериментальних і розрахункових значень абсолютних статичних тисків не перевищує 2%.

Універсальність методу полягає в тому, що математична модель, покладена в його основу, дозволяє виконувати профілювання ефективних каналних дифузоровідцентрових компресорів для широкого діапазону кутів потоку на вході в дифузор ($12 \div 30^\circ$), що підтверджується результатами числового та фізичного експериментів.

2. Розроблено методику визначення втрат в каналних дифузорах, яка враховує вплив косої зрізу на розподіл швидкостей в дифузори на нерозрахункових режимах. Розбіжність експериментальних та розрахункових значень коефіцієнтів втрат не перевищує 15 %.

3. Числове дослідження течії в каналних дифузорах, спроектованих з використанням створеного методу, показало:

- використання запропонованого методу профілювання дозволяє зменшити втрати на розрахунковому режимі на 30% та підвищити значення коефіцієнту

відновлення статичного тиску на 32% у порівнянні із каналними дифузорами традиційної геометрії;

- у випадку експлуатації компресора на розрахунковому режимі роботи рекомендовано використання каналних дифузоровідцентрових компресорів з лінійним законом зміни кута нахилу середньої лінії сегментів, оскільки в такому дифузори забезпечується мінімальний рівень втрат і більш стійка робота на розрахунковому режимі та при позитивних кутах атаки ($i_3 > 0^\circ$);

- дифузори з квадратичними законами зміни кута нахилу середньої лінії сегментів із незначною опуклістю ($-22 < K < 0$) є більш ефективними при негативних кутах атаки ($i_3 < 0^\circ$) порівняно з дифузорами з лінійним законом зміни відповідних кутів;

- зі зменшенням вхідного кута сегментів ефективність перетворення кінетичної енергії потоку в енергію тиску на розрахунковому режимі збільшується (тобто збільшується значення коефіцієнта C_p).

4. За результатами експериментального дослідження течії газу в каналному дифузори встановлено:

- характер розподілів тиску в окружному напрямі на ділянці каналу поза вихідним косим зрізом близький до лінійного, що говорить про адекватність цього допущення, прийнятого в математичній моделі.

- основна доля втрат доводиться на безлопаткову ділянку між робочим колесом і вхідними кромками дифузора (падіння повного тиску на цій ділянці складає 1-5%, тоді як падіння повного тиску в каналі на всіх режимах приблизно дорівнює 1%).

5. Проектування каналних дифузоровідцентрових компресорів з використанням запропонованого методу дозволить зменшити радіальні габарити компресора, оскільки розподіли швидкостей, що задаються, відповідають теоретично максимально можливому гальмуванню течії для заданих розмірів меридіонального контуру.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Калинкевич, Н.В. Проектирование радиально-осевых каналов турбокомпрессоров [Текст] / Н.В. Калинкевич, А.В. Скорик // Холодильная техника і технологія. – 2010. – №5 (127). – С. 20-25.

Особистий внесок: удосконалено методику розрахунку течії в каналах турбокомпресорів, виконано числові розрахунки.

2. Калинкевич, Н.В. Методика проектирования и численное исследование каналных дифузоров центробежных компрессоров [Текст] / Н.В. Калинкевич, А.В. Скорик, В.Г. Паненко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2012. – № 1(27). – С. 15-21.

Особистий внесок: створено математичну модель для профілювання каналних дифузоровідцентрових компресорів, виконано проектування КД для дослідження на аеродинамічному стенді

3. Калинкевич, Н.В. Численное исследование течения газа в высокоэффективном канальном диффузоре центробежного компрессора [Текст] / Н.В. Калинкевич, А.В. Скорик // Холодильна техніка і технологія. – 2012. – №4 (138). – С. 369-373.
Особистий внесок: виконано числові розрахунки течії газу в елементах проточної частини ВК та проаналізовано характер течії в них.
4. Kalinkevych, M. Design Method for Channel Diffusers of Centrifugal Compressors [Electronic source] / M. Kalinkevych, A. Skoryk // International Journal of Rotating Machinery. – 2013. – V. 2013. – Article ID 589357, 7 p. – ISSN 1542-3034. – <http://www.hindawi.com/journals/ijrm/2013/589357>.
Особистий внесок: створено математичну модель для профілювання канальних дифузоров, виконано числові розрахунки течії газу, формулювання висновків.
5. Скорик, А. В. Численное исследование течения газа в канальном диффузоре центробежного компрессора [Текст] / А.В. Скорик // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2013. - № 4. – С. 36-46.
6. Калинкевич, Н.В. Экспериментальное исследование течения газа в канальном диффузоре центробежного компрессора [Текст] / Н.В. Калинкевич, А.В. Скорик // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 4(34). – С. 26-30.
Особистий внесок: планування та проведення експериментальних досліджень, обробка експериментальних даних, формулювання висновків.
7. Kalinkevych, M. Design and Flow Parameters Calculation of the Turbomachine Channels [Text] / M. Kalinkevych, O.Gusak, A. Skoryk, O. Shcherbakov // Proceedings of the XIIIth International Scientific and Engineering Conference “HERVICON-2011”, International Forum “PUMPS-2011”. – Sumy, 2011. – P. 275 – 285.
Особистий внесок: удосконалено методику розрахунку течії в каналах турбокомпресорів, виконано числові розрахунки.
8. Kalinkevych, M. Investigation of the channel diffuser of centrifugal compressor [Text] / M. Kalinkevych, A. Skoryk // Proceedings of the 8th International IIR Conference on Compressors and Coolants «Compressors 2013»: 2-4 September 2013. – Papiernicka, Slovakia, 2013.
Особистий внесок: виконано числові розрахунки течії газу, порівняння результатів числового та фізичного експериментів.
9. Kalinkevych, M. Flow and performance investigation of the specially designed channel diffuser of centrifugal compressor [Text] / M. Kalinkevych, A. Skoryk // Proceedings of the 8th International Conference on Compressors and their Systems: 9-10 September 2013. – London, 2013. – P. 489 – 500.
Особистий внесок: виконано числові розрахунки течії газу, порівняння результатів числового та фізичного експериментів, формулювання висновків.
10. Скорик, А.В. Методика проектирования канальных диффузоров центробежных компрессоров [Текст] / А. В. Скорик // Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів: тези доп. – Одеса, 2011. – С. 38.

11. Скорик, А.В. Методика проектирования и численное исследование канальных диффузоров центробежных компрессоров [Текст] / А. В. Скорик, Н. В. Калинкевич // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій: тези доп. – Суми, 2011. – Ч.3. – С. 25.
Особистий внесок: створено математичну модель для профілювання канальних дифузоров, виконано проектування КД для дослідження на аеродинамічному стенді, виконано числові розрахунки.
12. Калинкевич, Н.В. Численное исследование канальных диффузоров центробежных компрессоров [Текст] / Н. В. Калинкевич, А. В. Скорик // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції: тези доп. – Одеса, 2011. – С. 16-17.
Особистий внесок: виконано числові розрахунки, формулювання висновків.
13. Скорик, А.В. Методика проектирования высокоэффективных канальных диффузоров центробежных компрессоров [Текст] / А. В. Скорик, Н. В. Калинкевич // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції: тези доп. – Суми, 2012. – Ч.3. – С. 83.
Особистий внесок: створено математичну модель для профілювання канальних дифузоров, формулювання висновків.
14. Скорик, А.В. Канальный диффузор с высоким повышением давления для ступени центробежного компрессора [Текст] / А. В. Скорик, Н. В. Калинкевич // Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів: тези доп. – Одеса, 2013. – С. 103-104.
Особистий внесок: аналіз існуючих конструкцій дифузоров, зіставлення результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних, формулювання загальних висновків роботи.
15. Калинкевич, Н.В. Канальный диффузор для ступени центробежного компрессора [Текст] / Н. В. Калинкевич, А. В. Скорик // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій: тези доп. – Суми, 2013. – Ч.2. – С. 32.
Особистий внесок: аналіз існуючих конструкцій дифузоров, зіставлення результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних, формулювання загальних висновків роботи.

АНОТАЦІЯ

Скорик А.В. Універсальний метод профілювання канальних дифузоров із заданим розподілом швидкостей для відцентрових компресорів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 - холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи

кондиціонування. - Одеська національна академія харчових технологій. МОН України, Одеса, 2014.

Дисертаційна робота присвячена створенню методу профілювання каналних дифузоровідцентрових компресорів, який враховує особливості закрученої в'язкої течії і може використовуватися для широкого діапазону вихідних даних. Також створено методику визначення втрат в каналних дифузорах на нерозрахункових режимах.

Виконана апробація методу за допомогою числового і фізичного експерименту, яка підтвердила закладені в його основу теоретичні положення та можливість його застосування у промисловості. Отримано експериментальні дані про структуру потоку та втрати в каналному дифузорові на різних режимах роботи. Надані рекомендації щодо більш ефективного проектування каналних дифузорові.

Ключові слова: відцентровий компресор, каналний дифузорові, метод профілювання, передвідривний стан примежового шару, числове дослідження, експериментальне дослідження

АННОТАЦІЯ

Скорик А.В. Универсальный метод профилирования каналных диффузоров с заданным распределением скоростей для центробежных компрессоров. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. – Одесская национальная академия пищевых технологий. МОН Украины, Одесса, 2014.

Диссертационная работа посвящена созданию метода профилирования каналных диффузоров центробежных компрессоров, который учитывает особенности закрученного вязкого течения и применим для широкого диапазона исходных данных. Также создана методика определения потерь в каналных диффузорах на нерасчетных режимах, которая учитывает влияние косо́го среза на распределение скоростей в диффузоре, что позволяет вычислять потери с приемлемой точностью. Предложенная математическая модель для выполнения профилирования каналных диффузоров и методика расчета потерь реализованы в компьютерной программе.

Выполнена апробация метода при помощи численного и физического эксперимента, которая подтвердила заложенные в его основу теоретические положения и возможность его применения в промышленности. На основании численного исследования показаны преимущества данного метода профилирования в сравнении с традиционными, а также предложены рекомендации для более эффективного проектирования каналных диффузоров

Полученные экспериментальные данные позволили расширить представление о структуре потока в каналных диффузорах на различных режимах работы центробежного компрессора, сделать выводы о распределении потерь в таких диффузорах и учитывались при создании методики расчета потерь.

Ключевые слова: центробежный компрессор, каналный диффузор, метод профилирования, предотрывное состояние пограничного слоя, численное исследование, экспериментальное исследование

SUMMARY

Skoryk A.V. The universal profiling method for channel diffusers with given velocity distribution for centrifugal compressors. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of engineering sciences in speciality 05.05.14 – refrigeration, vacuum and compressor equipment, air conditioning systems. – Odessa national academy of food technologies. MES of Ukraine, Odessa, 2014.

The thesis focuses on the creation of the channel diffusers profiling method for centrifugal compressors. Presented method takes into account features of the swirling viscous flow and is applicable for a wide range of initial conditions. Also the loss estimation technique for off-design conditions was created.

The numerical and experimental approbation of the method has been performed. It is shown that developed design method could be recommended for industrial application. Experimental data on the flow pattern and losses in the channel diffuser at off-design operating conditions has been obtained. The recommendations for effective channel diffuser design were stated.

Keywords: centrifugal compressor, channel diffuser, profiling method, pre-separation condition of boundary layer, numerical investigation, experimental investigation

Підписано до друку 19.08.2014

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Замовлення № 426

Видавць і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3062 від 17.12.2007