

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Панченко Надії Анатоліївни

«Ефективність плівкового охолодження плоскої поверхні при подачі охолоджувача через парні отвори»,

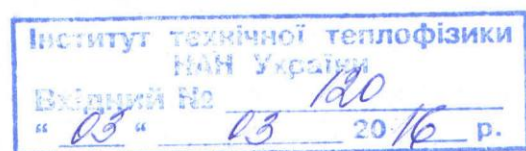
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 — технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Дисертаційна робота Панченко Н.А. присвячена дослідженню ефективності плівкового охолодження при подачі охолоджувача через парні отвори.

Актуальність обраної теми

В практиці газотурбобудування застосовуються схеми плівкового охолодження у вигляді системи одно- дво- і багаторядних циліндричних похилих отворів. Вони характеризуються рядом недоліків. Основний з них — виникнення системи вторинних вихрових структур, основними з яких є «ниркові» вихори, які призводять до зниження ефективності плівкового охолодження. Розробкою і дослідженням альтернативних схем займаються вчені і конструктори провідних світових виробників ГТУ в США, Японії, Німеччини, Росії та Україні. Основними вимогами для нових технічних рішень є рівномірність покриття поверхні плівкою охолоджувача при всіх його витратах, висока теплофізична ефективність, а також технологічність виробництва. У зв'язку з цим, в провідних світових центрах активно вивчаються кілька альтернативних схем плівкового охолодження, що характеризуються високою теплофізичною ефективністю і технологічністю, а також прийнятною, з точки зору гідравлічних втрат, витратою охолоджувача. Аналіз показує, що використання антиниркової вихрової схеми *парних отворів* є найбільш перспективним способом плівкового охолодження на даному етапі. Така схема є подальшим розвитком технології виготовлення отворів під складним кутом, яка використовується в серійних виробках під час виготовлення отворів вхідної кромки робочих лопаток і соплових апаратів. Технологічність, можливість істотного зниження вартості при виготовленні парних отворів є головним чинником на користь використання цієї технології в практиці.

Тому, тему дисертації Панченко Н.А., котра зв'язана з вивченням ефективності плівкового охолодження однієї з перспективних схем при подачі охолоджувача через парні отвори та вивчення основних факторів, що впливають



на ефективність плівкового охолодження, слід визнати актуальною в науковому і практичному плані.

Коротка характеристика змісту роботи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі списку умовних позначень, вступу, 3 розділів, висновків, списку літератури (118 найменувань), 5 додатків. Обсяг дисертації становить 151 сторінку, у тому числі 67 рисунків та 12 таблиць.

У першому розділі виконано огляд наявних у літературі досліджень традиційних систем плівкового охолодження, наведені експериментальні та розрахункові залежності для розрахунку середньої ефективності плівкового охолодження. Виконано огляд перспективних схем плівкового охолодження, проведено порівняння їх ефективності. Аналіз сучасного стану проблеми показав, що однією з перспективних конфігурацій плівкового охолодження є подача охолоджувача через парні отвори, яка обрана для подальших досліджень. На підставі цих висновків сформульовані задачі дослідження.

Другий розділ присвячений опису експериментальної установки, експериментальної ділянки, пристроїв створення турбулентності і прискорення зовнішнього потоку. Обґрунтовано вибір режимних параметрів, представлені результати тестових експериментів і проведена оцінка похибки вимірювань.

У третьому розділі автором наведено результати експериментального та теоретичного дослідження локальної та середньої ефективності плівкового охолодження плоскої пластини при подачі охолоджувача через парні отвори. Показано, що при ідентичних умовах середня ефективність плівкового охолодження плоскої поверхні за парними отворами при малих ($m = 0,50$) і помірних ($m = 1,0$) значеннях параметра вдуву на 20-25% вище, ніж для традиційної системи охолодження і відповідає їй при $m = 1,5$ і більше. Проведено узагальнення дослідних даних по середній ефективності плівкового охолодження. Отримано залежність для середньої ефективності плівкового охолодження. Представлені результати узагальнення дослідних даних по ступеню нерівномірності. Досліджено вплив турбулентності і прискорення зовнішнього потоку, запропоновані відносні функції, що враховують вплив цих факторів на ефективність плівкового охолодження для розглянутої схеми.

Визначення фізичної структури потоку і факторів, що впливають на ефективність плівкового охолодження, було виконано за допомогою візуалізації поверхневих ліній течії та комп'ютерного моделювання. У роботі розглянуто 6

моделей турбулентності. Для тестування використані власні експериментальні дані. На основі спільного аналізу результатів візуалізації потоку і комп'ютерного моделювання вперше показано, що основними факторами більш високої ефективності плівкового охолодження в порівнянні з традиційною схемою при $m \leq 1,0$ є перетворення «ниркових» вихрів і формування антиниркової вихрової структури з поперечним розтіканням охолоджувача близько поверхні, що перешкоджає надходженню зовнішнього потоку до охолоджуваної стінки. Також, наводиться порівняльний аналіз результатів чисельного моделювання щодо впливу параметра Δ на ефективність плівкового охолодження пластини для парних отворів. Показано, що залежно від відношення Δ/d середня ефективність плівкового охолодження змінюється по кривій з максимумом. Вперше отримано рівняння для $(\Delta/d)_{\text{опт}}$.

В цілому дисертаційна робота справляє позитивне враження своєю завершеністю, структурою та логічною послідовністю викладення матеріалу.

Наукова новизна і значимість отриманих результатів.

З моєї точки зору найбільш суттєві нові наукові результати роботи Панченко Н.А. полягають в наступному:

— вперше на основі комп'ютерного моделювання та поверхневої візуалізації потоку проаналізована фізична структура течії і теплообміну і показано, що збільшення ефективності плівкового охолодження при малих ($m = 0,50$) і помірних ($m = 1,0$) параметрах вдуву обумовлено перетворенням «ниркових» (вторинних) вихорів і формуванням антиниркової вихрової структури з поперечним розтіканням охолоджувача, який перешкоджає надходженню основного потоку до стінки;

— вперше показано, що при ідентичних умовах середня ефективність плівкового охолодження за парними отворами при малих і помірних значеннях параметра вдуву на 20-25% вище, ніж для традиційної схеми похилих отворів і відповідає їй при $m = 1,5$ і більше;

— вперше отримана узагальнююча залежність для середньої по ширині ефективності плівкового охолодження за парними отворами в умовах безградієнтного і низькотурбулентного потоку ($\approx 1\%$) та отримані поправки до базового рівняння для врахування зовнішньої турбулентності (до 7%) та прискорення потоку;

— вперше визначено оптимальні геометричні параметри схеми парних отворів, що забезпечують максимальну ефективність плівкового охолодження.

Обґрунтованість і достовірність основних положень дисертації.

Основні результати, положення і висновки дисертації базуються на результатах теоретичних і експериментальних досліджень. Ці дослідження проведені автором на основі обґрунтованих фізичних уявлень, сучасних методів теплофізики і гідромеханіки з використанням коректних перетворень перевіркою точності розрахункових методів. Тому основні положення дисертаційної роботи слід визнати цілком достовірними і обґрунтованими.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані в дисертаційній роботі результати можуть використовуватися при розрахунках ефективності плівкового охолодження при безградієнтній течії, а також при наявності зовнішньої турбулентності і прискорення потоку. Адекватні моделі турбулентності, котрі визначені в роботі, можуть використовуватися при комп'ютерному моделюванні систем плівкового охолодження лопаток газових турбін з подачею охолоджувача через парні отвори. Результати дисертаційної роботи отримали використання в практиці газотурбобудування України, а також в навчальному процесі Фізико-технічного інституту НТУУ «КПІ».

Апробація результатів дисертації.

Основні наукові та прикладні результати дисертації, що захищається, апробовані на 14 міжнародних конференціях, основні з них: VIII і IX Міжнародних конференціях «Проблеми промислової теплотехніки» (Київ, 2013 і 2015), Шостій Російській національній конференції по теплообміну (РНКТ-6) (Москва, Росія, 2014), X і XI Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергозбереження і шляхи їх вирішення» (Харків, 2014 і 2015), XIX і XX Міжнародних конгресах двигунобудівників (сmt Коблево, 2014 і 2015).

Результати виконаних досліджень удостоєні грамоти Президії НАН України на конкурсі наукових робіт студентів та молодих вчених НАН України (Відділення фізико-технічних проблем енергетики).

Публікації.

Основні результати дисертації опубліковано у 21 науковій праці, у тому числі: 6 статей у наукових фахових виданнях України, 3 статті у виданнях іноземних держав, з опублікованих статей 7 представлені у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних; 12 тез доповідей в збірках матеріалів конференцій.

Автореферат написано докладно, добре ілюстровано і він відповідає змісту дисертації. Всі основні положення і висновки, що містяться в дисертації, відображені в авторефераті.

Зауваження по дисертації.

1. У дисертаційній роботі досить великий обсяг займає огляд літератури.
2. Не зрозуміло, як результати дисертації, отримані на плоскій пластині, можуть бути використані в реальних конструкціях лопаток, що мають криволінійну поверхню.
3. Не вказано, як результати дослідження можуть бути використані для реальних температур, оскільки температури при яких проводилися експерименти не відповідають робочим умовам лопаток газових турбін.
4. Не вказано як впливає на остаточний результат і висновки по дисертації той факт, що при дослідженні було вибрано зворотний напрямок теплового потоку.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, яка виконана на високому науковому рівні, є закінченим науковим дослідженням орієнтованим на вирішення важливої науково-технічної проблеми, що полягає в дослідженні альтернативної схеми плівкового охолодження в умовах характерних для лопаток газових турбін (турбулентність та прискорення потоку).

Викладене дозволяє вважати, що дисертація повністю відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор Панченко Надія Анатоліївна заслуговує присудження вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 — Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент

д.т.н., старший науковий співробітник,
професор кафедри суднових енергетичних
установок, допоміжних механізмів суден
та їх експлуатації Київської державної
академії водного транспорту імені гетьмана

Петра Конашевича-Сагайдачного МОН України

Ф.О. Кривошей

Фірма Кривошей
Заяв. нач. В.В. Кривошей



Кривошей