

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Петельчиц Вікторії Юріївни

«Вдосконалення систем плівкового охолодження вхідних кромок лопаток газових турбін»,

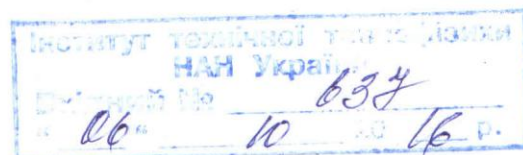
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 — технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

1. Актуальність дисертаційної роботи

Основним способом підвищення ефективності та інших характеристик ГТД будь-якого призначення залишається підвищення температури газу перед турбіною, яка в енергетичних ГТД великої потужності вже досягла 1600 °С. Ще більш високі температури газу перед турбіною характерні для створюваних в даний час авіаційних ГТД. Оскільки температура газу значно перевищує температуру тривалої працездатності кращих матеріалів, то для охолодження лопаток використовуються внутрішня і зовнішня системи повітряного охолодження.

Як показав досвід проектування ГТД, застосування плівкового охолодження лопаток стає необхідним вже при температурах газу близько 1200 °С. Однак при високих температурах газу витрата охолоджувача стає дуже високою, тому термодинамічні втрати можуть перевищити вигреш від охолодження. Тому питання зниження витрати охолоджувача за рахунок більш високої ефективності плівкового охолодження, особливо при високій температурі газу є актуальним питанням.

Протягом останніх 20 років в світі було проведено велику кількість досліджень, спрямованих на пошук більш ефективних систем плівкового охолодження. Були запропоновані і досліджені кілька альтернативних конфігурацій плівкового охолодження, зокрема: через отвори складної форми (віялові, консольні і т.д.); через циліндричні отвори, поміщені в напівсферичні



поглиблення і траншеї; системи перехресних парних отворів. Ці та інші методи підвищення ефективності, так чи інакше, спрямовані на придушення вихроутворення в зоні видування і знижує імовірність відриву струменя охолоджувача від охолоджуваної поверхні. Висока ефективність цих методів для плоскої пластини підтверджена великою кількістю досліджень, заснованих на фізичних експериментах і комп'ютерному моделюванні. Зарубіжні фірми вже застосовують такі конфігурації плівкового охолодження на поверхнях спинки та корита лопатки.

Разом з тим, будь-які дані по ефективності плівкового охолодження альтернативних методів на циліндричній поверхні, що характерно для вхідної кромки лопатки, в літературі відсутні. Немає також даних по ефективності плівкового охолодження на циліндричній ділянці вхідної кромки на деякому віддаленні від місця видування. Як відомо, структура потоку при видуванні повітря на циліндричну поверхню істотно відрізняється від тієї що формується близько плоскій поверхні.

Ділянка вхідної кромки є найбільш термічно навантаженим елементом профілю лопатки турбіни, що обумовлено, з одного боку, високою інтенсивністю теплообміну з боку газу в зоні гальмування потоку, а з іншого – меншою площею теплообмінної поверхні з боку охолоджувача. Застосування плівкового охолодження для цієї області особливо актуально. Структура потоку при подачі охолоджувача на вхідну кромку істотно відрізняється від структури, що формується біля плоскої поверхні. Це викликано наявністю зони гальмування потоку, суттєвими градієнтами швидкості та статичного тиску. З цієї причини використання даних, отриманих на плоскій поверхні, для розрахунку плівкового охолодження на циліндричній поверхні є некоректним. У відкритій літературі недостатньо робіт, присвячених вибору розташування рядів отворів плівкового охолодження на вхідній кромці, використанню поверхневих поглиблень, ефективності плівкового охолодження на криволінійних поверхнях на віддаленні від місця вдуву.

Таким чином, питання подальшого вдосконалення систем плівкового охолодження вхідних кромок лопаток газових турбін, вивчення структури потоку є актуальним науковим і практичним напрямком, що має велике значення для газотурбобудування та інших високотемпературних енергетичних систем.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона відповідає переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок за напрямом «Енергетика та енергоефективність. Технології енергетичного машинобудування», затверджених Постановою Кабінету Міністрів України №942 від 7 вересня 2011 р. Наукові результати, представлені в дисертації, використані в держбюджетній НДР № 1.7.1.853 Дослідження поверхнево-вихрових систем для інтенсифікації теплообміну і підвищення ефективності охолодження поверхонь в перспективних ГТД» (ІТТФ НАН України, номер державної реєстрації 0112U002042).

1. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є вдосконалення плівкового охолодження вхідних кромок лопаток газових турбін при подачі охолоджувача через трирядну систему циліндричних отворів: віялових отворів, отворів у напівсферичних поглибленнях і траншеях; визначення фізичної структури потоку і залежностей, що характеризують ефективність плівкового охолодження.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі дослідження:

– визначена ефективність плівкового охолодження при подачі охолоджувача через систему радіальних циліндричних отворів з кутом відхилення бокових рядів отворів від центральної лінії 15, 30 і 45°, а також через систему паралельних отворів;

– визначена ефективність плівкового охолодження для інноваційних схем плівкового охолодження з подачею охолоджувача через віялові отвори, отвори в напівсферичних поглибленнях і в траншеях;

– отримано розподіл ефективності плівкового охолодження при подачі охолоджувача на ділянці вхідної кромки реальної лопатки та визначено вплив факторів, що мають місце в реальному міжлопатковому каналі на її розподіл. Виконано порівняння отриманих результатів з результатами отриманими на моделі вхідної кромки плоскими стінками за нею.

Для отримання загальних висновків щодо ефективності обраних систем плівкового охолодження дослідження виконані для чотирьох значень параметра вдуву $m = 0,5; 1,0; 1,5$ і $2,0$, що перебувають у важливому для практичного застосування діапазоні.

2. До основних нових наукових результатів дисертації, які отримані вперше, слід віднести наступне:

– встановлено, що в діапазоні зміни параметра вдуву від $0,5$ до $2,0$ при подачі охолоджувача через систему радіальних циліндричних отворів на циліндричній вхідній кромці моделі з плоскими стінками за нею, найбільш ефективним є розташування ряду бокових отворів під кутом $\alpha = 15^\circ$ від центральної лінії;

– встановлено, що система паралельних отворів є більш ефективною системою плівкового охолодження циліндричної вхідної кромки ніж система з радіальними отворами;

– отримано графічні залежності, які відображають ефективність плівкового охолодження для інноваційних систем охолодження з подачею охолоджувача через віялові отвори, отвори в напівсферичних поглибленнях і в траншеях для моделі плоскої стінки з циліндричною вхідною кромкою;

– встановлено, що кривизна поверхні, градієнт тиску на вхідній кромці моделі реальної лопатки приводять до перерозподілу охолоджувача між рядами

циліндричних отворів і змінюють ефективності плівкового охолодження на вхідний кромці і за нею, порівнюючи з моделлю з плоскими стінками. Розроблено рекомендації для оцінки ефективності плівкового охолодження лопатки газової турбіни.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі та достовірність результатів досліджень

Достовірність отриманих результатів забезпечена:

– коректним застосуванням (відповідність використаних моделей турбулентності, виконання вимог і рекомендацій щодо моделювання) програмного забезпечення, що має міжнародний сертифікат якості ISO 9001:2008;

– задовільним узгодженням результатів тестових розрахунків з апробованими експериментальними даними, опублікованими в літературі.

4. Практичне значення отриманих результатів

Сформульовано рекомендації щодо вдосконалення існуючих та застосування інноваційних систем плівкового охолодження вхідних кромок лопаток газових турбін. Визначено найбільш ефективні способи розташування рядів отворів в системі плівкового охолодження вхідної кромки, надано рекомендації з вибору діапазону параметра вдуву. Сформульовано рекомендації з комп'ютерного моделювання (зокрема що до використання сіток, моделей турбулентності), що дозволяє детально визначити температурний стан лопатки на етапі її проектування і, тим самим, підвищити надійність її роботи в умовах експлуатації.

Наукові результати здобувача впроваджені в процес проектування систем охолодження лопаток газотурбінних двигунів виробництва ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

5. Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота є рукопис, що містить вступ, три розділи, висновки і додаток. Загальний обсяг роботи становить 142 сторінки, з яких 5 сторінок займають рисунки, всього 61 рисунок і 4 таблиці, 2 сторінки – додаток, 11 сторінок – список використаних джерел (104 найменування).

Зміст роботи відповідає напряму дослідження спеціальності технічна теплофізика та промислова теплоенергетика, пов'язаному з удосконаленням систем охолодження й теплового захисту елементів промислових енергетичних установок, відображує одержані автором теоретичні та прикладні результати, які у сукупності вирішують поставлену науково-прикладну задачу, що свідчить про завершеність наукового дослідження. Подання матеріалу в логічній послідовності з обґрунтуванням і узагальненням результатів у вигляді висновків по розділах і загальних висновків по роботі сприяє її сприйняттю як цілісного дослідження.

Наведені в роботі результати одержані автором особисто.

6. Апробація результатів дисертації

Основні наукові та прикладні результати роботи обговорювалися і отримали схвалення на 9 конференціях.

За результатами досліджень опубліковано 11 наукових праць: 5 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних (Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, Google Scholar, РИНЦ); 1 стаття в зарубіжному виданні; 5 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій. У перерахованих вище роботах, опублікованих у відкритому друку, повністю розкриті основні наукові результати, що становлять суть дисертаційної роботи.

7. Повнота і стиль викладення матеріалу в дисертації і авторефераті, ступінь відповідності їх паспорту спеціальності

Автореферат написано докладно, добре ілюстровано і він відповідає змісту дисертації. Всі основні положення і висновки, що містяться в дисертації відображені в авторефераті. Повнота і стиль викладення результатів досліджень і висновків відповідають сучасним вимогам до наукових публікацій. Дисертація і автореферат повністю відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 — технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

8. Зауваження до змісту дисертаційної роботи

1. У розділі 2 показано, що для плоскої поверхні необхідно використовувати адаптовану SST модель турбулентності (при $Pr_t = 0,5$). У той же час на циліндричною моделі немає сенсу її використовувати, так як стандартна модель дає прийнятні результати. Тому не ясно, чому у подальшому не використовується адаптована модель турбулентності для плоскої ділянки поверхні, яка розташовується за циліндричною вхідною кромкою (розділ 3).
2. Не дано пояснення, чому ефективність плівкового охолодження на циліндричній поверхні моделі плоскої пластини вище, ніж на вхідній кромці лопатки.
3. На увігнутій поверхні лопаток газових турбін розміщується більше рядів отворів, ніж на опуклій поверхні, що свідчить про меншу ефективність тут плівкового охолодження. Цей висновок також підтверджується у дисертаційній роботі. На жаль, автор не зробив фізичного тлумачення цього явища.
4. В авторефераті на рисунку 3 положення отворів показано на осі абсцис однаково, хоча ряди отворів розташовувалися на різних кутах (15, 30, 45 °).

5. На рис. 3.7 показано слабкий вплив на ефективність охолодження кута виходу потоку по відношенню до напрямку руху газу. Якщо для радіальних отворів цей кут приблизно 90° , то у разі циліндричних отворів повітря виходить фактично назустріч потоку газу. Цей факт потребує тлумачення.
6. Характер зміни усередненої величини ефективності від параметра вдуву на вхідний кромці при куті розташування другого ряду отворів 30° важко пояснити. Ймовірно, тут ховаються похибки розрахунку, і результати необхідно було б апроксимувати кривою, побудованою за методом найменших квадратів. Тоді можна було б стверджувати, що для цього кута віялові отвори і циліндричні отвори дають однаковий результат (рис. 3.10).
7. На жаль, у дисертації і у авторефераті представлені тільки графічні залежності для ефективності охолодження. Це ускладнює використання результатів дисертації для практичних цілей. Бажано у подальшому отримати аналітичні залежності, застосування яких значно спростило б процес проектування плівкового охолодження лопаток газових турбін.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Петельчиц Вікторії Юріївни «Вдосконалення систем плівкового охолодження вхідних кромок лопаток газових турбін» є закінченим науковим дослідженням орієнтованим на вирішення важливої науково-технічної проблеми, що полягає у дослідженні альтернативної схеми плівкового охолодження в умовах характерних для лопаток газових турбін. Викладене дозволяє вважати, що дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою

Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор Петельчиц Вікторія Юріївна заслуговує присудження вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 — технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент

професор кафедри турбінобудування

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор технічних наук, професор

Тарасов О.І.

4.10.2016

*Відгук проф. Тарасова О.І.
"Засвідчую"*



Професор Ю. Сахар