

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.

Дисертаційна робота Петельчиц В.Ю. присвячена дослідженню ефективності плівкового охолодження при подачі охолоджувача через трирядні системи циліндричних отворів розташованих на ділянці вхідної кромки.

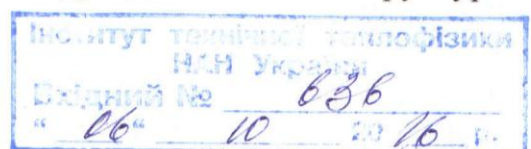
Актуальність обраної теми

Як показує досвід проектування ГТД, незважаючи на розвиток внутрішніх (конвективних) систем охолодження, забезпечити необхідну глибину охолодження лопаток перших ступенів турбіни неможливо без використання зовнішнього (плівкового) охолодження, коли охолоджувач подається на охолоджувані поверхні з метою відтискання від них гарячого газу. Застосування плівкового охолодження приводить до додаткових термодинамічних і газодинамічних втрат, тому питання досягнення його максимальної ефективності при мінімальних витратах охолоджувача стоїть дуже гостро.

Розробкою і дослідженням альтернативних схем займаються вчені і конструктори провідних світових виробників ГТУ в США, Японії, Німеччини, Росії та Україні. Основна частина цих робіт присвячена дослідженню закономірностей плівкового охолодження на плоскій поверхні з урахуванням впливу різних факторів. Ряд досліджень спрямований на вивчення можливості підвищення ефективності за рахунок застосування інноваційних схем – віялових, парних та інших типів отворів, а також поверхневих поглиблень.

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



потоків і отримання узагальнюючих залежностей є актуальним науковим і практичним напрямком, що має велике значення для газотурбобудування та інших високотемпературних енергетичних систем.

Зміст роботи

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків і додатку. 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).

У першому розділі виконано огляд систем охолодження лопаток сучасних ГТД. Виконано аналіз застосування плівкового охолодження в лопатках газових турбін, а також способів підвищення його ефективності. Розглянуто особливості застосування плівкового охолодження на вхідних кромках лопаток турбіни високотемпературних ГТД. Наведений огляд показав актуальність і велике практичне значення подальших досліджень у цьому напрямку.

У другому розділі надано теоретичні основи CFD-моделювання, дано опис використаного програмного забезпечення, наведено результати тестових розрахунків ефективності плівкового охолодження при подачі охолоджувача на плоску і циліндричну поверхні. Розглянуто методику виконання та обробки результатів розрахунків, описано геометричну модель, розрахункову сітку та розрахункову модель.

У третьому розділі виконані дослідження різних конфігурацій отворів плівкового охолодження розташованих на ділянці вхідної кромки: а) радіальні циліндричні отвори з кутом відхилення бокового ряду отворів від центральної лінії $\alpha = 15, 30$ і 45° ; б) паралельні циліндричні отвори; в) радіальні віялові отвори; г) циліндричні отвори в напівсферичних поглибленнях, д) циліндричні отвори в траншеях.

Для оцінки ефективності плівкового охолодження досліджених систем їх результати порівнювалися з результатами, отриманими для системи радіальних отворів при $\alpha = 30^\circ$. Дослідження виконані для чотирьох значень параметра вдуву $m = 0,5; 1,0; 1,5$ і $2,0$.

Показано, що найбільш ефективним серед систем радіальних і паралельних циліндричних отворів з точки зору охолодження є система паралельних отворів на моделі циліндричної вхідної кромки з плоскими стінками за.

При подачі охолоджувача в поверхневі поглиблення на моделі циліндричної вхідної кромки з плоскими стінками за нею найбільш ефективною є система отворів у траншеях. Використання віялових отворів на моделі циліндричної вхідної кромки не приводить до значного підвищення ефективності плівкового охолодження. Ефективність плівкового охолодження при використанні отворів в напівсферичних поглибленнях близька до даних для системи радіальних отворів.

Отримано, що наявність факторів, що мають місце в реальному міжлопатковому каналі (змінна кривизна поверхні, градієнти швидкості і тиску), приводить до істотного перерозподілу охолоджувача між рядами отворів і ефективності плівкового охолодження в порівнянні з моделлю з плоскими стінками, як на вхідній кромці, так і за нею.

В цілому дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що дозволяють визначати ефективність плівкового охолодження для традиційних та інноваційних систем плівкового охолодження.

Наукова новизна і значимість отриманих результатів

Найбільш суттєві нові наукові результати роботи Петельчиц В.Ю. полягають в наступному:

- вперше показано, що 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;

- вперше виконано порівняння ефективності систем радіальних і паралельних отворів на моделі циліндричної вхідної кромки з плоскими стінками за нею і показано, що система паралельних отворів є більш ефективною з точки зору ефективності плівкового охолодження;

- вперше досліджено інноваційні системи плівкового охолодження з подачею охолоджувача через віялові отвори, отвори в напівсферичних поглибленнях і в траншеях на моделі з циліндричною вхідною кромкою і плоскими стінками за нею і отримано відповідні залежності;

- вперше для системи радіальних циліндричних отворів на вхідній кромці моделі реальної лопатки показано, що фактори, які відбуваються в реальному міжлопатковому каналі (кривизна поверхні, градієнт тиску), приводять до перерозподілу охолоджувача між рядами отворів і зміни в розподілі ефективності плівкового охолодження на вхідній кромці і за нею, порівнюючи з моделлю з плоскими стінками;

- вперше отримано наукові дані, що характеризують фізичну структуру потоку та особливості плівкового охолодження при подачі охолоджувача через трирядну систему радіальних циліндричних отворів, віялові отвори, отвори в напівсферичних поглибленнях і траншеях.

Обґрунтованість і достовірність основних положень дисертації

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.

Практичне значення отриманих результатів

Сформульовано рекомендації щодо вдосконалення існуючих та застосування інноваційних систем плівкового охолодження вхідних кромek 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 (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.

Отримані в дисертації результати використано при проектуванні системи охолодження двигунів виробництва ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

Апробація результатів дисертації

Основні результати роботи обговорювалися і отримали схвалення на VI і VII Міжнародних науково-технічних конференціях студентів, аспірантів, вчених і фахівців «Судова енергетика: стан та проблеми» (м. Миколаїв, 2013, 2015); на II та III Міжнародних науково-технічних конференціях студентів, аспірантів, вчених і фахівців «Сучасний стан та проблеми двигунобудування» (м. Миколаїв, 2012, 2014); XVIII Міжнародному конгресі двигунобудівників (п. Рибачьє, АР Крим, 2013); V Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології в газотурбобудування» (м. Алушта, АР Крим, 2013); X і XI Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергозбереження та шляхи їх вирішення» (м. Харків, 2014, 2015); XII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичні та теплотехнічні процеси і устаткування» (м. Харків, 2016).

Публікації

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.

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. Серед факторів, що мають місце на реальному лопатці, слід було б розглянути вплив обертання.

2. Мало уваги приділено структурі потоку, особливо у випадку лопатки в міжлопатковому каналі. Треба було навести структуру течії при плівковому охолодженні та пояснити які фізичні процеси відбуваються.

3. Розглянуто лише один профіль для моделі лопатки, при цьому його конфігурація не описана, не сказано за яким законом закрутки спрофільовано лопатку. Було б дуже корисно розглянути хоча б ще 2-3 різні профілі, можливо були б отримані інші результати. Цікаво було б окремо розглянути профіль соплової і робочої лопатки.

4. У роботі не обґрунтовано обране значення ступеня турбулентності основного потоку, при якому виконані дослідження.

5. При виконанні дослідження доцільно було б додатково розглянути вплив видування повітря при плівковому охолодженню на інтенсифікацію теплообміну з боку газу.

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 №567 від 24 липня 2013 р., 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

д.т.н., старший науковий співробітник,
зав. 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

Фізічне Кривошей Ф.О. засвідчує.
Вас. начальник ВК
Кривошей

