

## ДОВІДКА

### про творчий внесок Панченко Надії Анатоліївни

в роботу “Системи плівкового охолодження лопаток високотемпературних газових турбін”, висунуту Інститутом технічної теплофізики НАН України на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2017 р.

Панченко Н.А. закінчила у 2012 році «з відзнакою» Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»). У 2012 році зарахована до аспірантури НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» з відривом від виробництва. Навчання в аспірантурі успішно поєднувала з науковою роботою у відділі Високотемпературної термогазодинаміки ІТТФ НАНУ на посаді молодшого наукового співробітника (за сумісництвом) та викладацькою діяльністю в НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського». Після закінчення аспірантури направлена на роботу в ІТТФ НАНУ, де в березні 2016 року захистила дисертацію та отримала науковий ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 — технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Науково-дослідницька діяльність Панченко Н.А. присвячена експериментальному і теоретичному дослідженню інноваційної схеми плівкового охолодження з подачею охолоджувача через *парні отвори*. Вихрова взаємодія охолоджуючих струменів з отворів першого і другого ряду призводить до формування нової тривимірної вихрової структури, яка руйнує негативний «нирковий» вихор і сприяє більш ефективному охолодженню поверхні. Безпосередній науковий доробок Н.А.Панченко у роботу, що подається на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2017 р., полягає в наступному:

— Вперше на основі експериментального і теоретичного дослідження схеми парних отворів в широкому діапазоні зміни параметра вдуву при зовнішній турбулентності і прискоренні потоку отримані нові наукові дані, що характеризують фізичний механізм і закономірності плівкового охолодження.

— Вперше показано, що при ідентичних умовах показано, що середня ефективність плівкового охолодження за парними отворами при малих ( $m = 0,50$ ) і помірних ( $m = 1,0$ ) 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 (базова) залежність для середньої по ширині ефективності плівкового охолодження за парними отворами в умовах безградієнтного і низькотурбулентного потоку ( $\approx 1\%$ ).

— Вперше показано, що для досліджених умов зовнішня турбулентність (до 7%) має незначний вплив на ефективність плівкового охолодження. Прискорення потоку знижує ефективність плівкового охолодження до 25% ( $m = 0,5$ ); узагальненням дослідних даних отримана степенева залежність для фактора прискорення потоку.

— Вперше для безградієнтного і низькотурбулентного потоку отримані залежності, що характеризують зміну ступеня нерівномірності ефективності плівкового охолодження по довжині пластини. Показано, що зовнішня турбулентність і прискорення потоку збільшують ступінь поперечної нерівномірності охолодження поверхні.

— Порівнянням експериментальних і розрахункових даних показано, що при низькому параметрі вдуву ( $m = 0,5$ ) всі розглянуті в роботі моделі турбулентності ( $k-\varepsilon$ ,  $RNG k-\varepsilon$ ,  $k-\omega$ ,  $SST k-\omega$ ,  $LLR RSM$ ,  $SSGRSM$ ) показують задовільне наближення до отриманих в роботі експериментальних даних, при цьому кращі результати демонструє  $k-\varepsilon$  модель. Зі збільшенням параметра вдуву всі моделі показують завищені (до 40%) результати на ділянці  $x/d < 10 \dots 20$ . Це свідчить про достатньо великі похибки комп'ютерного моделювання даної схеми плівкового охолодження при  $m = 1,0$  і більше.

— Вперше на основі комп'ютерного моделювання та поверхневої візуалізації потоку показано, що збільшення ефективності плівкового охолодження при малих і помірних параметрах вдуву обумовлено формуванням «антиниркової» вихрової структури з поперечним розтіканням охолоджувача, що перешкоджає надходженню основного потоку до стінки.

— Вперше показано, що при заданих значеннях кутів подачі охолоджувача  $\beta_1$  і  $\beta_2$  поперечна відстань  $\Delta$  між отворами першого і другого ряду має значний вплив на ефективність плівкового охолодження, яка змінюється за кривою з максимумом. Вперше отримано рівняння для оптимального значення параметра  $\Delta$ , що забезпечує максимальну ефективність охолодження.

Панченко Н.А. виконала цикл комплексних експериментальних та чисельних досліджень та отримала ряд нових наукових результатів, що мають велике практичне значення. Отримані результати знайшли застосування в ІТТФ НАНУ при розробці методики розрахунку ефективності плівкового охолодження соплових лопаток високотемпературних ГТД для ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», а також у навчальному процесі при підготовці студентів Фізико-технічного інституту НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» за напрямом «Прикладна фізика» (спеціалізація «Фізика енергетичних систем і нових джерел енергії»), що підтверджено відповідними актами впровадження. Основні наукові результати увійшли в колективну монографію «Перспективні схеми плівкового охолодження» (розділ 7 і 8.3), опубліковану співробітниками ІТТФ НАНУ в 2016 р.

Н.А.Панченко є автором 29 наукових праць: 7 статей у наукових фахових виданнях України, перелік яких затверджено МОН України; 3 статті в зарубіжних виданнях (Російська Федерація); з опублікованих статей 8 представлені у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних (SCOPUS, Web of Science, Index Copernicus, Scholar, INSPEC, Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ); опубліковано 18 тез доповідей у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій, 1 методичний посібник. Загальна кількість реферованих публікацій – 14, зокрема, у базі SCOPUS – 1, загальний індекс цитування – 3, h-індекс – 1.

Н.с. відділу ВТТГД ІТТФ НАНУ,  
к.т.н.

Директор ІТТФ НАН України  
чл.-кор. НАН України, д.т.н.



Н.А. Панченко

Ю.Ф. Снежкін

## ДОВІДКА

про творчий внесок Безлюдної Марії Володимирівни,

в роботу “Системи плівкового охолодження лопаток високотемпературних газових турбін”, висунуту Інститутом технічної теплофізики НАН України на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2017 р.

Безлюдна М.В. закінчила у 2011 р. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського») за спеціальністю «Технічна теплофізика». При підготовці дипломної роботи магістра проходила практику у Відділі високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ), де підготувала магістерську дисертацію в області інноваційної схеми плівкового охолодження при подачі охолоджувача в поглиблення напівсферичної форми. Після закінчення університету вступила до аспірантури при НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». У період навчання в аспірантурі з 2011 по 2014 р.р. продовжила дослідження на базі ІТТФ НАНУ, працюючи за сумісництвом на посаді молодшого наукового співробітника. Після закінчення аспірантури була направлена на роботу в ІТТФ НАНУ, де в 2015 р. захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

У дослідженнях М.В. Безлюдної в області інноваційної схеми плівкового охолодження при подачі охолоджувача в поглиблення напівсферичної форми використовуються теоретичний та експериментальний методи дослідження. Таке поєднання дозволило отримати нові наукові результати, що характеризують фізичний механізм теплопереносу та закономірності плівкового охолодження при складних граничних умовах найбільш характерних для енергетичного газотурбобудування. У роботах М.В. Безлюдної вперше показана принципова можливість істотного збільшення ефективності плівкового охолодження при подачі охолоджувача в напівсферичні поглиблення. За рахунок попереднього розтікання охолоджувача в поглибленні досягається зниження вторинних течій і зменшення відриву потоку від охолоджуваної стінки.

Основні нові наукові результати полягають у наступному:

1. Вперше експериментально і теоретично вивчена нова схема осцилюючого плівкового охолодження на плоскій пластині з подачею охолоджувача в одно- і дворядну систему похилих отворів в напівсферичних поглибленнях. Отримано нові наукові дані, що характеризують фізичний механізм і закономірності плівкового охолодження при різних граничних умовах.

2. Вперше показано, що при ідентичних граничних умовах в діапазоні зміни параметра вдуву від 0,5 до 2,0 досліджена схема характеризується більш високою середньою ефективністю плівкового охолодження, ніж традиційна схема круглих похилих отворів. Зі збільшенням параметра вдуву це перевищення становить від 22 при  $m = 0,5$  до 120% при  $m = 2,0$ .

3. Вперше для безградієнтного і низкотурбулентного ( $Tu = 1\%$ ) потоку на основі експериментальних даних отримана узагальнююча (базова) залежність, що

характеризує середню ефективність плівкового охолодження при подачі охолоджувача в два ряди похилих отворів в напівсферичних поглибленнях.

4. Вперше показано, що при типових умовах для газових турбін умовах ( $Tu \leq 7\%$ ) зовнішня турбулентності потоку при  $m = 0,5$  та  $1,0$  мало впливає на зміну ефективності плівкового охолодження (зростання не більше ніж на  $5\%$ ), а при подальшому збільшенні  $m$  вплив турбулентності практично відсутній. Прискорення потоку несуттєво знижує ефективність плівкового охолодження як при постійному, так і змінному (лінійному) по довжині градієнті тиску.

5. Вперше отримані відносні коригуючі функції до базової залежності, що враховують вплив зовнішньої турбулентності потоку і градієнта тиску на середню ефективність плівкового охолодження.

6. Вперше на основі порівняння експериментальних і теоретичних даних обґрунтована адекватна модель турбулентності для плівкового охолодження з подачею охолоджувача в систему напівсферичних поглиблень. На цій основі отримані нові дані, що характеризують особливості фізичної структури течії і теплообміну, показано, що збільшення ефективності плівкового охолодження обумовлено істотним зниженням відриву охолоджувача від поверхні охолодження і зменшенням інтенсивності «ниркового» вихору в області його подачі.

Отримані експериментальні дані і теоретичні результати були використані Інститутом технічної теплофізики (акт використання від 16.01.2015 р.) при розробці методики розрахунку ефективності плівкового охолодження соплових лопаток високотемпературних ГТД на замовлення ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (акт впровадження від 15.11.2013 р.) при подачі охолоджувача в систему поглиблень напівсферичної форми. Дана методика дозволяє виконувати розрахунки з високою точністю і визначати оптимальні з точки зору витрати охолоджувача, характеристики поверхневих системи охолодження. Вони також були використані в навчальному процесі Фізико-технічного інституту НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» при виконанні курсових і дипломних робіт, а також в лекційних курсах для студентів за спеціальністю «Прикладна фізика» (спеціалізація «Фізика енергетичних систем та новітніх джерел енергії», акт використання від 27.01.2015 р.). По результатам досліджень М.В. Безлюдної отримано патент на винахід «Спосіб плівкового охолодження» № а 2015 04484 від 07.05.2015 (А.А. Халатов, С.Д. Северін, М.В. Безлюдна, І.В. Новохацька). Основні наукові результати увійшли в колективну монографію «Перспективні схеми плівкового охолодження» (розділи 6 та 8.2), що опублікована співробітниками ІТТФ НАНУ у 2016 р.

М.В. Безлюдна є автором 20 наукових робіт, у том числі: 1 патенту на винахід, 9 статей в українських і зарубіжних наукових фахових виданнях, які включені в міжнародні наукометричних баз даних (Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, Scholar, РИНЦ); 10 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій. Індекс Хірша  $h = 1.0$ , кількість реферованих статей — 14, кількість цитувань — 3.

К.т.н.

Директор ІТТФ НАН України  
чл.-кор. НАН України, д.т.н.



М.В. Безлюдна

Ю.Ф. Снежкін

## ДОВІДКА

### про творчий внесок Петельчиц Вікторії Юрїївни

в роботу *“Системи плівкового охолодження лопаток високотемпературних газових турбін”*, висунуту Інститутом технічної теплофізики НАН України на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2017 р.

Петельчиц В.Ю. в 2007 р. закінчила Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» за спеціальністю «Газотурбінні установки і компресорні станції» та здобула кваліфікацію інженера-дослідника. З березня 2007 р. працює в Державному підприємстві Науково-виробничому комплексі газотурбобудування «Зоря»-«Машпроект». На теперішній час Петельчиц В.Ю. – інженер-конструктор II кат. групи розрахунків систем охолодження та температурного стану деталей турбін конструкторського відділення ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

У 2012 р. рекомендована ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» до аспірантури без відриву від виробництва до Інституту технічної теплофізики НАН України. З 2012 по 2016 рр. навчалася в аспірантурі ІТТФ НАН України, в жовтні 2016 р. успішно захистила дисертаційну роботу та отримала науковий ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Наукова робота Петельчиц В. Ю. присвячена дослідженню інноваційних схем плівкового охолодження ділянки вхідної кромки лопатки газової турбіни при подачі охолоджувача в поверхневі поглиблення напівсферичного та траншейного типів, фасонні отвори складної конфігурації та традиційні циліндричні отвори. Дослідження виконані для реальних умов по температурному фактору.

Основні нові наукові результати, отримані В.Ю. Петельчиц, полягають у наступному:

1. Вперше показано, 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;

2. Вперше в діапазоні зміни параметра вдуву від 0,5 до 2,0 виконано порівняння ефективності систем радіальних і паралельних циліндричних 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 при  $m > 0,5$ ;

3. Вперше в діапазоні зміни параметра вдуву від 0,5 до 2,0 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;

4. Вперше для системи радіальних циліндричних отворів на вхідній кромці моделі лопатки показано, що фактори, які відбуваються в реальному

міжлопатковому каналі (кривизна поверхні, градієнт тиску), сприяють перерозподілу охолоджувача між рядами отворів і зміни в розподілі ефективності плівкового охолодження на вхідній кромці і за нею, порівнюючи з моделлю з плоскими стінками;

5. 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.

*Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:*

1. 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.

2. 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 роботі результати використані при проектуванні системи охолодження і розрахунку температурного стану соплових лопаток (СЛ) турбіни високого тиску газотурбінного двигуна ДА32, а також при розробці робочої лопатки з конвективно-плівковим охолодженням турбіни високого тиску для двигунів типу ДН80 виробництва ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект» (акт впровадження від 21.06.2016).

Петельчиц В.Ю. є автором 13 наукових робіт: 8 статей в українських і зарубіжних наукових фахових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних (SCOPUS, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, Scholar, РИНЦ); 5 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій. Загальна кількість реферованих публікацій – 8, зокрема, у базі SCOPUS – 1, загальний індекс цитування – 2, h-індекс – 1. Основні результати роботи обговорювалися і отримали схвалення фахівців на чисельних міжнародних науково-технічних конференціях.

Інженер-конструктор II кат.  
Конструкторського відділення  
ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект»,  
к.т.н.

В.Ю. Петельчиц

Директор ІТТФ НАН України  
чл.-кор. НАН України, д.т.н.

Ю.Ф. Снежкін

