



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **62233** (13) **U**
(51) МПК
F01D 5/18 (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**ОПИС**
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту**(54) ОХОЛОДЖУВАНА РОБОЧА ЛОПАТКА ТУРБІНИ**

1

2

(21) u201013014

(22) 02.11.2010

(24) 25.08.2011

(46) 25.08.2011, Бюл.№ 16, 2011 р.

(72) ЯКУШЕВ ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ,
МЕРКУЛОВ ВЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ, РІЗНИК
СЕРГІЙ БОРИСОВИЧ, БОРИС СЕРГІЙ
БОГДАНОВИЧ, ШАКАЛО РУСЛАН ЮРІЙОВИЧ(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ЗАПОРІЗЬКЕ
МАШИНОБУДІВНЕ КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО
"ПРОГРЕС" ІМЕНІ АКАДЕМІКА О.Г. ІВЧЕНКА"(57) 1. Охолоджувана робоча лопатка турбіни, що містить взаємопов'язані між собою замкову установну й газодинамічну робочу частини лопатки, при цьому газодинамічна частина містить у собі внутрішні порожнини охолодження, оточені поверхнями вхідної й вихідної крайок, і взаємопов'язані з ними поверхні тиску й розрідження, усередині й уздовж яких виконані порожнини одержання й подачі охолоджувача в зазначену газодинамічну частину від вказаної замкової частини, яка **відрізняється** тим, що уздовж газодинамічної частини лопатки, між передньою та задньою крайками та поверхнями тиску й розрідження послідовно розміщені

автономні групи окремих поздовжніх порожнин, розташованих у кожній із цих груп поперечними рядами від поверхні розрідження до поверхні тиску, при цьому порожнини кожної з автономних груп поєднані отворами як між собою, так і з поверхнею газодинамічної частини лопатки, причому порожнини автономних груп, що розміщені біля поверхні розрідження, проведені крізь замкову частину лопатки для одержання охолоджувача.

2. Охолоджувана робоча лопатка турбіни за пунктом 1, яка **відрізняється** тим, що в кожній автономній групі на вході до порожнини одержання охолоджувача у замковій частині виконані дросельні отвори.

3. Охолоджувана робоча лопатка турбіни за пунктами 1, 2, яка **відрізняється** тим, що в кожній з автономних груп одна з їх порожнин поєднана вихідними отворами з поверхнею тиску газодинамічної частини лопатки.

4. Охолоджувана робоча лопатка турбіни за пунктами 1, 2, 3, яка **відрізняється** тим, що згадана поверхня розрідження виконана суцільною.

Технічне рішення, що заявляється, стосується робочих лопаток роторів високотемпературних турбін газотурбінних двигунів, зокрема, їх пустотілих лопаток, форма й конструкція елементів яких у їхніх порожнинах забезпечує їхнє ефективне охолодження.

У відомих пристроях таких лопаток турбіни в їх поперечному перерізі пера можна виділити порожнини охолодження як у центральній частині лопатки, так і в стінках лопатки з боку тиску й з боку розрідження.

Порожнини біля стінок лопатки, тих і інших, поєднані отворами із центральною порожниною. Всі групи порожнин простираються уздовж пера лопатки, причому одна з порожнин може простиратися й уздовж хвостовика лопатки, й з'єднана з порожниною, в яку підводиться охолоджувальне повітря.

Одне з подібних технічних рішень відомо з опису до патенту фірми United Technologies (US №

5,667,359, кл. US 416-96, МПК F01D5/18; F01D5/20), у якому робоча лопатка турбіни містить кілька центральних порожнин і кілька порожнин біля стінок лопатки як з боку тиску, так і з боку розрідження.

Окремі порожнини біля стінок лопатки з'єднані із центральними порожнинами через отвори для підведення з них охолоджувача в порожнини в стінках лопатки. У свою чергу в стінках лопатки в окремих порожнинах є отвори, що виходять на зовнішню поверхню лопатки для випуску охолоджувача, щоб організувати загороджувальне (плівкове) охолодження.

Охолоджувач, проходячи через отвори, що з'єднують центральну порожнину із порожниною, розташованою в стінці з боку тиску, здійснює охолодження пера струминним натіканням. Основний недолік подібних конструкцій полягає в тому, що важко забезпечити необхідні витрати через кожний канал окремо й тим самим

(13) **U**(11) **62233**(19) **UA**

оптимізувати ступінь охолодження різних ділянок лопатки як конвективним, так і загороджувальним охолодженням, оскільки порожнини поєднані між собою отворами.

Насамперед, ця порожнина в центральній частині пера лопатки, поєднана отворами з відносно меншими порожнинами, які можуть бути виконані в стінках лопатки як з боку тиску, так і з боку розрідження, а також у вхідній та, можливо, й у вихідній крайках лопатки.

Технічне рішення фірми Rollse-Royce (див. патенти GB № 2 283 538, кл. UK F1V та US № 5,562,409, кл. U.S. 415-175) стосується охолоджуваної лопатки турбіни, як з окремими, так і взаємозалежними між собою порожнинами.

Лопатка має окрему порожнину уздовж її вхідної крайки, не поєднані між собою. Це, щонайменше, три порожнини, що звужуються в напрямку задньої крайки, окрема порожнина у передньої крайки, а також центральна порожнина уздовж пера. Центральна порожнина поєднується з окремими малими порожнинами в стінці лопатки з боку тиску. Принаймні, у стінці лопатки з боку тиску є отвори випуску охолоджувача із цих малих порожнин на відповідну поверхню лопатки.

Це технічне рішення має невисокий ступінь охолодження через обмежену площу поверхонь, що беруть участь у теплообміні. У високотемпературних турбінах воно недостатньо ефективне.

Відоме також технічне рішення, заявлене ЦІАМ імені П.І. Баранова за патентом RU № 2 267 616, F01D5/18, охолоджуваної лопатки турбіни, що включає замкову частину й газодинамічну, де утворені поздовжні порожнини подачі охолоджувача до вхідної й вихідної крайок.

При цьому між порожнинами вхідної й вихідної крайок передбачені центральні порожнини, взаємозв'язані із щільними порожнинами змінної ширини в стінках лопатки. Ці порожнини мають безліч П-подібних і U-подібних пристіночних каналів з отворами, що виводять охолоджувач на поверхні газодинамічної частини лопатки.

Технічне рішення за патентом RU № 2 267 616 могло б порівняно ефективно забезпечувати охолодження поверхонь газодинамічної частини робочої лопатки турбіни, однак воно конструктивно й технологічно складне в виробництві, а в робочому режимі вигнуті у зворотному напрямку канали не захищені від засмічення, і, отже, можуть згодом втратити ефективність.

Проте, через спільність відомого технічного рішення й того, що заявляється, та близькості розв'язуваної задачі відоме рішення за патентом RU 2 267 616 обрано за найближчий аналог.

Перед авторами була поставлена задача одержати підвищення ефективності охолодження лопаток високотемпературних турбін за рахунок інтенсивності при його оптимальності на різних ділянках лопатки, як конвективним, так і загороджувальним охолодженням, та при оптимальній витраті охолоджувача.

В остаточному підсумку повинен бути досягнутий технічний результат збільшення

ресурсу робочих лопаток та, отже, і всього вузла ротора високотемпературної турбіни в цілому.

Для досягнення зазначеного вище технічного результату за рахунок рішення поставленої задачі у робочій лопатці турбіни, яка містить взаємопов'язані між собою замкову настановну частину й профільну газодинамічну частини лопатки, що містять поверхні тиску й розрідження, та об'єднані поверхнями вхідної й вихідної крайок, усередині й уздовж яких виконані порожнини одержання й подачі охолоджувача до зазначеної газодинамічної частини лопатки від замкової частини, зроблені вдосконалення.

Удосконалення полягають у тому, що уздовж газодинамічної частини лопатки, між порожнинами передньої і задньої крайок і поверхнями тиску й розрідження послідовно розміщені автономні групи окремих поздовжніх порожнин.

У кожній з автономних груп порожнини розміщені поперечними рядами від поверхні розрідження до поверхні тиску. Кількість автономних груп визначається відомими розрахунковими способами й залежить від геометричних і газодинамічних параметрів як самого вузла, так і робочої лопатки турбіни.

Порожнини кожної з автономних груп з'єднані отворами як між собою, так і з поверхнею газодинамічної частини лопатки, а саме, порожнини автономних груп, розміщені біля поверхні тиску. Ці порожнини поєднані з порожнинами замкової частини, призначеними для одержання й подачі охолоджувача до вказаної газодинамічної частини лопатки й забезпечення загороджувального охолодження.

У кожній автономній групі на вході в порожнину одержання охолоджувача в замковій частині виконані дросельні отвори.

При цьому поверхня розрідження газодинамічної частини лопатки може бути виконана цілою.

Рішення поставленої задачі пояснюється кресленнями, де:

- на Фігурі 1 показана в загальному виді робоча лопатка турбіни газотурбінного двигуна;

- на Фігурі 2 показаний поперечний переріз А-А газодинамічної частини лопатки турбіни, що заявляється, з виділеними автономними групами порожнин охолодження між порожнинами передньої й задньої крайок газодинамічної частини лопатки;

- на Фігурі 3 показаний також загальний вид лопатки, що заявляється, але із частковим поздовжнім вирізом Б-Б порожнин, розміщених біля поверхні розрідження газодинамічної частини лопатки, яка одержує охолоджувач через замкову частину для всіх автономних груп порожнин;

- на Фігурі 4 показана умовно виділена з перерізу А-А одна зі згаданих ідентичних автономних груп порожнин незалежно від її розташування;

- на Фігурі 5 показаний поздовжній переріз В однієї зі згаданих автономних груп порожнин від поверхні тиску до поверхні розрідження з порожниною прийому охолоджувача в замковій частині й уздовж газодинамічної частини лопатки.

Охолоджувана робоча лопатка турбіни 1 газотурбінного двигуна, яка показана на Фіг. 1, містить взаємозалежні між собою профільну газодинамічну частину 2 та замкову частину 3 для встановлення її в диск ротора турбіни.

Геометрія газодинамічної частини 2 лопатки 1 представлена в її поперечному перерізі А-А передньою вхідною крайкою 4 і задньою вихідною крайкою 5, які взаємопов'язані поверхнями розрідження 6 і тиску 7, формуючи у сукупності зазначену газодинамічну частину 2 робочої лопатки турбіни, що заявляється.

Як у передній вхідній крайці 4, так і в задній вихідній крайці 5, проходять відповідно внутрішні (умовної конфігурації) порожнини охолодження 8 і 9.

Порожнини вхідної крайки 4 і вихідної крайки 5 уздовж газодинамічної частини 2 лопатки відокремлені поперечними перегородками 10 і 11, з'єднаними з поверхнею 6 розрідження й поверхнею 7 тиску.

Між перегородками 10, 11 уздовж газодинамічної частини 2 лопатки 1 виконані, щонайменше, три (12, 13, 14) автономні групи порожнин.

Ці групи 12, 13, 14 за конфігурацією самих порожнин і їхньому розміщенню для кожної із зазначених груп у деякій мірі (хоча й несуттєво) індивідуальні відповідно відомим методикам розрахунків.

Середня автономна група 13 порожнин у свою чергу з обох сторін відділена від групи порожнин 12 перегородкою 15 та від групи порожнин 14 перегородкою 16, у напрямку, близькому до напрямку аналогічних перегородок 10, 11.

Як вказувалося, загальна кількість автономних груп може логічно варіюватися за рахунок середніх груп від однієї й вище залежно від геометрії та робочих параметрів турбіни, що визначається відомими способами розрахунку.

Оскільки автономні групи порожнин у своїй основі ідентичні, на Фіг. 4 виділена з перерізу А-А одна зі згаданих автономних груп поза залежністю від її розташування. Цим використана можливість розглядати, наприклад, групу 14, як одну з автономних груп ідентичних порожнин (див. Фіг. 4).

У кожній із цих груп (див. Фіг. 5, переріз В) у поверхні 6 розрідження порожнина 17 проведена крізь замкову частину 3 лопатки для одержання охолоджувача, та вздовж пера 2 лопатки поєднана безліччю отворів 18 у стінці 19 із середньою порожниною 20. У свою чергу, порожнина 20 поєднана з порожниною 23 безліччю отворів 21 у стінці 22.

Порожнина 23 кожної з автономних груп за рахунок отворів 24 має вихід на поверхню 7 тиску газодинамічної частини 2 робочі лопатки 1.

Слід зазначити, що для активізації процесу введення в порожнину замкової частини охолоджувача й, отже, забезпечення процесу охолодження газодинамічної частини лопатки, що заявляється, отвори 25 подачі охолоджувача на його вході в замкову частину 3 виконуються дросельними. При цьому оптимальні параметри введення охолоджувача можуть бути розраховані для кожної автономної групи порожнин.

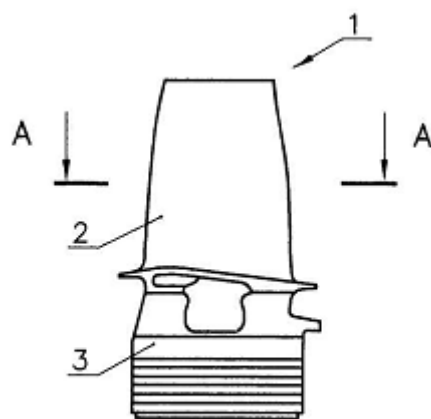
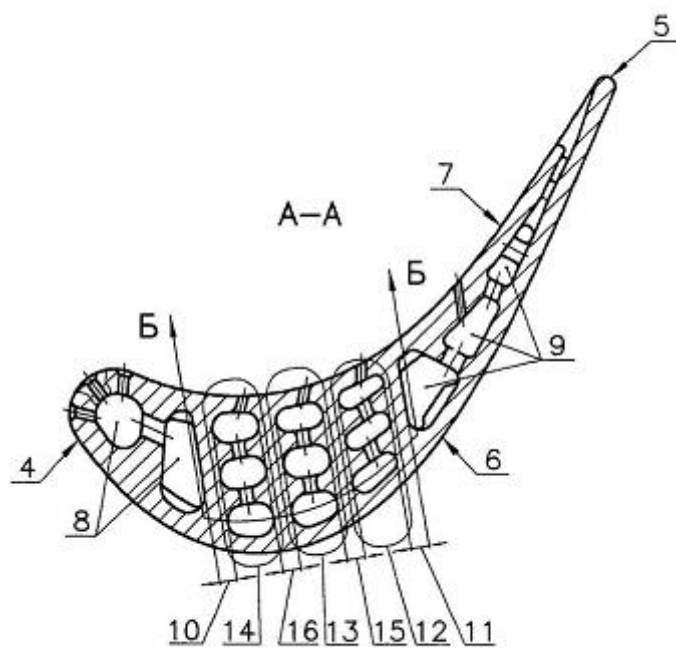
У такий спосіб охолоджувач, наприклад повітря, входить через дросельні отвори 25 в ідентичні порожнини 17 кожної з автономних груп (Фіг. 5), а потім через безліч отворів 18 вже у стінках 19 надходить у кожну порожнину 20, і далі через отвори 21 у стінках 22 проникає до порожнини 23.

Із порожнин 23 всіх автономних груп через безліч ідентичних отворів 24 охолоджувач надходить у міжлопаточний простір, при цьому рівномірно обмиваючи загальну зовнішню поверхню тиску 7 газодинамічної частини 2 робочі лопатки 1 турбіни.

Підвищена інтенсивність і ефективність охолодження лопатки згідно даному технічному рішенню забезпечується за рахунок збільшеної площі внутрішніх порожнин, що беруть участь у теплообміні.

Оптимальне охолодження різних ділянок лопатки, як конвективним, так і загороджувальним охолодженням одночасно досягається тим, що всі групи порожнин незалежні між собою та незалежні від інших порожнин лопатки.

Крім того, витрати охолоджувача через кожну автономну групу порожнин регулюються різним ступенем дроселювання отворів на вході у кожну окрему порожнину прийому охолоджувача.

**Fig. 1****Fig. 2**

Б-Б

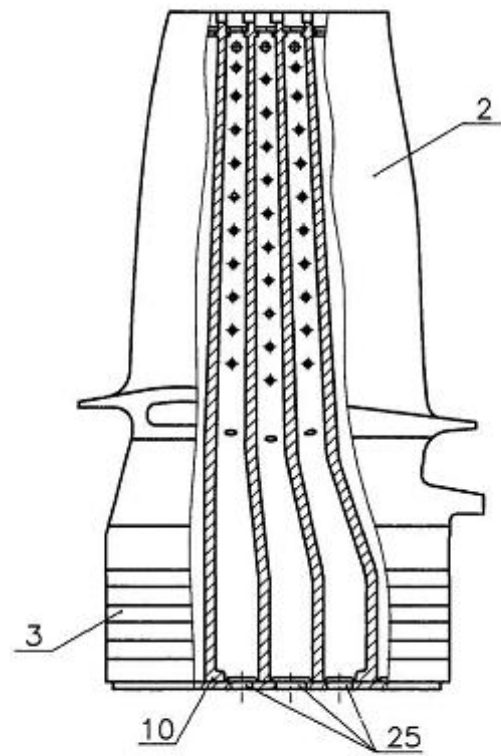


Fig. 3

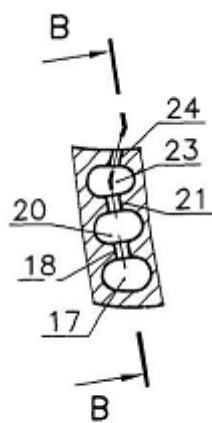


Fig. 4

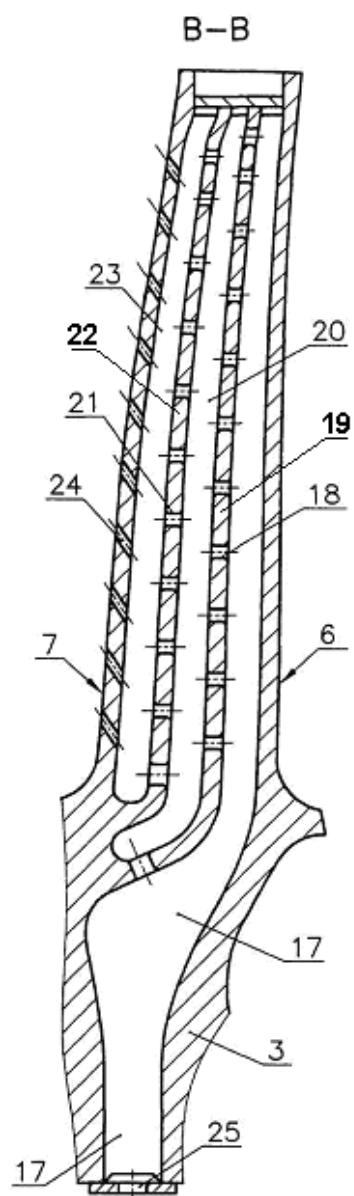


Fig. 5