

Винахід стосується турбінобудування, зокрема, пристроїв для регулювання периферійних радіальних зазорів і призначений для використання в суднових, авіаційних і енергетичних газотурбінних двигунах (ГТД), використовуваних у якості приводу електричних генераторів і механічних приводів.

Ефективність роботи турбін у значній мірі залежить від утрат, викликаних перетіканням пазу через периферійні радіальні зазори (ПРЗ), тобто зазори між статором і периферійними торцями робочих лопаток або, у випадку застосування обандажених робочих лопаток, між статором і зовнішніми торцями гребінців бандажних полиць робочих лопаток. Найбільше істотний вплив на розмір цих утрат робить розмір ПРЗ.

Основна ціль застосованих у багатьох сучасних ГТД пристроїв регулювання радіальних зазорів полягає в зменшенні розмірів ПРЗ і підвищенні за рахунок цього ефективності турбін.

В усіх відомих конструкціях пристроїв регулювання розмірів ПРЗ зміна розмірів ПРЗ здійснюється за рахунок зміни температур, а отже, і температурних розширень статорних деталей, що і визначають розмір ПРЗ. Пристрої регулювання ПРЗ умовно можна розділити на пристрої пасивного і пристрої активного регулювання.

Робота пристроїв пасивного регулювання ПРЗ полягає в узгодженні теплової інерційності дисків турбін і корпусів, що визначають розмір ПРЗ, тобто в забезпеченні однакових темпів прогріву та остигання диска і корпусних деталей над ними без застосування додаткових керуючих пристроїв. Наприклад, такі пристрої використані в ряді промислових ГТД ("Taurus 70", "Titan 130") фірми "Солар", США (Доповіді Американського Товариства інженерів-механіків 97-GT-409, 98-GT-590). Поряд із простотою такі пристрої мають ряд дуже істотних недоліків.

По-перше, на режимах набору потужності при повільному збільшенні температур масивного диска і корпусних деталей має місце дуже швидкий прогрів, а отже, швидке температурне подовження робочих лопаток, а також швидкий ріст відцентрового подовження ротора. Для компенсації швидкого розширення ротора необхідно забезпечувати значні розміри ПРЗ на часткових режимах або істотно обмежувати прийомистість двигуна.

По-друге, узгодження темпів остигання, тобто температурних розширень ротора і статора після зупинки двигуна призводить до багатократного збільшення маси статора.

Зазначені недоліки істотно обмежують застосування цих пристроїв у суднових і стаціонарних ГТД і роблять їх практично непридатними в авіаційних ГТД.

Відомі також пристрої активного регулювання ПРЗ, що мають набагато більші можливості, при цьому багато двигунів мають окремі пристрої для регулювання ПРЗ турбін високого тиску (ТВТ) і турбін низького тиску (ТНТ).

Основна задача цих пристроїв полягає в забезпеченні мінімальних зазорів на крейсерському режимі, на якому двигун працює основну частину часу.

Відомі, наприклад, пристрої, у яких регулювання ПРЗ провадиться за рахунок обдування зовнішніх корпусів турбін повітрям, що відбирається з другого (зовнішнього) контуру (патент США № 4379677 від 12.04.83 р., Авт. св. СРСР № 1626754).

Використання повітря другого контуру з низьким тиском не дозволяє забезпечити високу інтенсивність охолодження корпусних деталей. Крім того, через низький тиск повітря в тракту пристрою регулювання неминучі перетікання газу з проточної частини з набагато більшим тиском у порожнині пристрою, а це може призводити до значної окружної нерівномірності температур корпусів, порушенню концентричності статорного кільця і ротора, значним фактичним розмірам ПРЗ і знижує ефективність пристрою в цілому.

Як прототип прийняте технічне рішення по Авт. св. СРСР № 1823564. У даному технічному рішенні в якості регулюючого зазори елемента застосований нерухомий диск із радіальними ребрами, температурні розширення якого визначають розмір радіального зазору турбіни.

Канали для проходу повітря, що охолоджує диск, утворені радіальними ребрами в диску і притискним по торцю захисним кожухом із фланцем. Даний пристрій для регулювання ПРЗ ТВТ було реалізовано і випробувано на двигунах ДА80 № 1 (прототип джиг. ДН80Л), GT 15000, GT 25000, що випускаються ДП "НВКГ "Зоря"-Машпроект" (Україна).

Охолоджувальне повітря в пристрій підводився через компресор високого тиску (КВТ). Проте, випробування показали, що охолодження диску повітрям, що перетікає через радіальні канали в диску не забезпечило достатньої інтенсивності теплообміну і не дозволило забезпечити високий темп прогріву, що виключає врізання ротора в корпус при різкому наборі потужності. Недостатня тепла інерційність диску не дозволила виключити заклинювання ротору по ПРЗ над робочими лопатками при остиганні. Було також виявлено, що температура диску в окружному напрямку була нерівномірною, у результаті чого розмір ПРЗ по окружності також коливається із широких меж.

Крім того, даний пристрій потребує окремого добору повітря на регулювання радіального зазору, що негативно позначається на к.к.д. двигуна. Випуск повітря в проточну частину перед робочими лопатками ТВТ не дозволяє використовувати менш цінне для циклу ГТД повітря з-поза проміжного ступеню компресора з більш низькою температурою і тиском.

У основу винаходу поставлена задача удосконалення пристрою для регулювання периферійних радіальних зазорів між статором і робочими з лопатками турбіни ГТД, у котрому шляхом застосування більш масивного регулюючого кільця з інерційністю, що відповідає тепловій інерційності робочого колеса при набагато більш інтенсивному струминному охолодженні цього кільця, забезпечується зменшення розміру ПРЗ у діапазоні стаціонарних робочих режимів та виключається збільшення цих зазорів на нестационарних режимах із-за врізання робочих лопаток в сегментні вставки регулюючого кільця.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для регулювання периферійних радіальних зазорів між статором і робочими лопатками турбіни ГТД, що містить корпус із встановленим у ньому регулюючим елементом, закріпленим на останньому сегментній вставці, центруючий циліндр, пружні елементи, відповідно до винаходу, регулюючий елемент виконаний у виді кільця, теплова інерційність якого при відсутності обдування повітрям відповідає тепловій інерційності робочого колеса даного ступеню, із кільцевим

виступом, що разом із пружними пластинами – сегментами, встановленими в сполучну корпусну деталь, утворює ущільнення осьового зазору між регулюючим кільцем і корпусом соплового апарату, центруючий циліндр виконаний єдиною деталлю з регулюючим кільцем, по його внутрішньому діаметру розташований кільце-екран, який має два кільцевих виступи для розміщення його в корпусних деталях і містить лази для проходу повітря з приймально-роздавальної порожнини та отвори струминного охолодження, від яких орієнтовані на регулююче кільце, між сегментними вставками і регулюючим кільцем встановлений тонкостінний теплозахисний екран.

Крім того, розміри пазів, а також кількість і діаметри отворів кільця-екрана розраховані з умов забезпечення максимально можливої інтенсивності теплообміну по зовнішній поверхні регулюючого кільця.

Завдяки тому, що теплова інерційність регулюючого кільця при відсутності обдування його охолоджувальним повітрям відповідає тепловій інерційності робочого колеса даного ступеню на зупинках або перед ними при відключенні обдування регулюючого кільця охолоджувальним повітрям зберігаються теплові розширення кільця в той час, як теплові та відцентрові розширення робочого колеса при зупинках знижуються і ПРЗ збільшуються, що виключає врізання робочих лопаток у вставки регулюючого кільця на змінних режимах.

Кільцевий виступ регулюючого кільця, крім того, що разом з пластинами-сегментами забезпечує ущільнення осьового зазору між регулюючим кільцем та корпусними деталями і усуває утікання охолоджувального повітря через цей зазор, дозволяє зменшити площу контакту регулюючого кільця з іншими корпусними деталями і тим самим зменшити перетікання тепла між контактуючими деталями, що при відсутності обдування охолоджувальним повітрям рівносильно теплоізолюванню регулюючого кільця від інших корпусних деталей.

Виконання центруючого циліндра єдиною деталлю з регулюючим кільцем також зменшує площу контакту регулюючого кільця з іншими корпусними деталями і дозволяє завдяки своїй еластичності регулюючому кільцю розширюватися незалежно від інших корпусних деталей. Крім того, така конструкція забезпечує просте та надійне центрування регулюючого кільця, тобто концентричність внутрішнього діаметра його вставок і зовнішнього діаметра робочих лопаток колеса ступеню що, окрім зменшення теплового розширення регулюючого кільця, являється необхідною складовою надійного регулювання ПРЗ. Інакше буде мати місце одностороннє врізання робочих лопаток у вставки регулюючого кільця, що приведе до збільшення фактичної величини ПРЗ.

Тонкостінний теплозахисний екран дозволяє значно знизити підігрів кільця від більш нагрітих вставок регулюючого кільця.

Кільце-екран з пазами та отворами для охолоджувального повітря завдяки наявності кільцевих виступів є рівновіддаленим від регулюючого кільця, що дає змогу забезпечити рівномірність розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по зовнішній поверхні регулюючого кільця та рівномірність розподілу охолоджувального повітря по його окружності, в результаті чого забезпечується рівномірний розподіл температур регулюючого кільця в коловому напрямку, що, в свою чергу, забезпечує концентричність внутрішнього діаметра його вставок і зовнішнього діаметра робочих лопаток колеса і виключає врізання робочих лопаток у вставки регулюючого кільця.

Крім того, кільцеві виступи кільця-екрану та ущільнення усувають витікання (втрати) охолоджувального повітря.

На кресленні зображений пристрій для регулювання периферійних радіальних зазорів, що заявляється, його подовжній розтин.

У силовому корпусі 1 розміщене регулююче кільце 2, виконане єдиною деталлю з центруючим циліндром 3, що кріпиться в корпусі 1 по посадці в районі правого торця і служить для кріплення і центрівки регулюючого кільця 2 у корпусі. Центруючий циліндр 3 за рахунок своєї еластичності дозволяє регулюючому кільцю розширюватися незалежно від інших корпусних деталей. Регулююче кільце 2 має кільцевий виступ 4, що разом із пружними пластинами-сегментами 5, встановленими в сполучній корпусній деталі, утворює ущільнення осьового зазору між регулюючим кільцем 2 і корпусними деталями. У регулюючому кільці 2 закріплені сегментні вставки 6, внутрішній діаметр яких визначає розмір периферійного радіального зазору 7 над робочими лопатками 8. Концентричність внутрішнього діаметра вставок 6 і зовнішнього діаметра по робочим лопаткам забезпечується виконанням регулюючого кільця і центруючого циліндра у виді єдиної деталі. Для зменшення підігріву регулюючого кільця 2 між сегментними вставками 6 і регулюючим кільцем 2 встановлений тонкостінний теплозахисний екран 9. По внутрішньому діаметру центруючого циліндра 5 розташований кільце-екран 10, що має кільцеві виступи 11 і 12, які утворюють із регулюючим кільцем і корпусом посадкові поверхні і центрують кільце-екран у регулюючому кільці та інших корпусних деталях, чим забезпечують рівновіддаленість кільця-екрана 10 від регулюючого кільця 2 в окружному напрямку.

Крім того, кільце-екран 10 має пази 13 для проходу охолоджувального повітря, подаваного з приймально-роздавальної порожнини 14, утвореної корпусними деталями, а також отвори 15, осі яких орієнтовані на регулююче кільце 2. Отвори 15 забезпечують струминне («душове») охолодження регулюючого кільця. Рівновіддаленість кільця-екрана 10 від регулюючого кільця 2 в окружному напрямку забезпечує рівномірність розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по зовнішній поверхні регулюючого кільця і рівномірність розподілу охолоджувального повітря по окружності. Це, у свою чергу, забезпечує рівномірний розподіл температур регулюючого кільця 2 в окружному напрямку.

Пристрій містить також систему каналів 16 для проходу повітря, пружне ущільнення 17 і зовнішні підвідні труби 18.

Пристрій працює у такий спосіб. При роботі двигуна охолоджувальне повітря, що відбирається з компресора через труби 18 подається в приймально-роздавальну порожнину 14, далі через пази 13 і отвори 15 у кільці-екрані 10 повітря обдуває регулююче кільце 2, забезпечуючи інтенсивне струминне («душове») охолодження регулюючого кільця по зовнішньому діаметру, тобто по поверхні максимальної

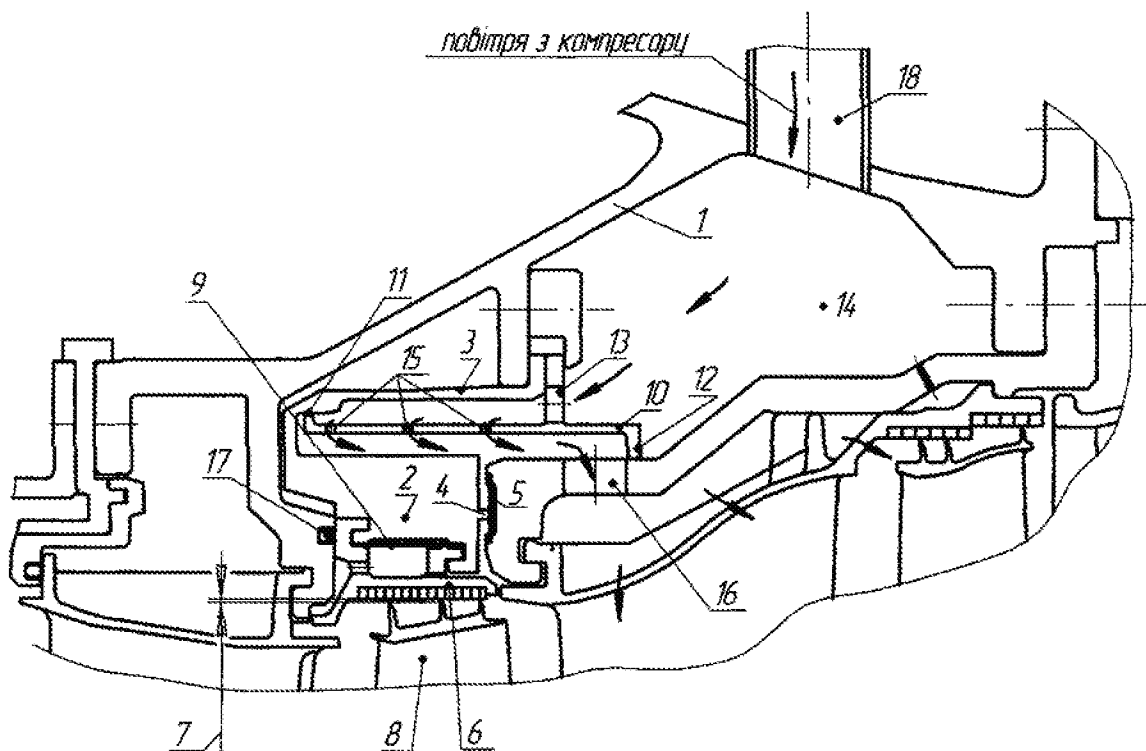
площі. Теплові розширення регулюючого кільця 2 визначають розмір ПРЗ. Тонкостінний теплозахисний екран 9 дозволяє значно знизити підігрів кільця від більш нагрітих вставок 6. Посадкові поверхні по кільцевих виступах 11 і 12 кільця-екрана 10 зводять до мінімуму перетікання повітря повз пази 13 і отвори 15. Прокідна площа пазів 13 повинна бути максимально можливою з метою зменшення втрат тиску охолодного повітря. Кількість і діаметри отворів 15 підбираються таким чином, щоб забезпечувалася максимальна інтенсивність теплообміну по зовнішній поверхні регулюючого кільця для того, щоб температура кільця 2 була близька до температури охолоджувального повітря. При цьому тиск повітря за отворами 15 повинен декілька перевищувати тиск газу в проточній частині за робочими лопатками 8. Ущільнення, утворене виступом 4 і пластинами 5, а також пружне ущільнення 17 практично усувають втрати охолоджувального повітря по осьових зазорах між регулюючим кільцем 2 і корпусними деталями. Все повітря після охолодження регулюючого кільця по каналах 16 для проходження надходить на охолодження турбіни, тобто в заявленому пристрої все повітря, призначене для охолодження наступного ступеню турбіни спочатку використовується для охолодження регулюючого кільця. З цієї причини окремий добір повітря власне на регулювання ПРЗ в пристрої виключений.

Важливою особливістю заявленого пристрою є відсутність випуску повітря в проточну частину перед робочими лопатками, тобто в зону більш високого тиску. Це дозволило використовувати для охолодження регулюючого кільця повітря з проміжного ступеню компресора з більш низьким тиском, а отже, і більш низькою температурою.

Виключення врізання робочих лопаток у вставки 6 на перемінних режимах вирішується в такий спосіб. Регулююче кільце 2 більш масивне, чим у прототипі і його теплова інерційність при відсутності обдування повітрям відповідає тепловій інерційності робочого колеса відповідного ступеню. Виконання підводу повітря на охолодження по зовнішніх трубах 18 дозволяє під час зупинок або перед зупинками відключати обдування регулюючого кільця 2 повітрям і тим самим зберегти теплові розширення кільця 2 у той час, як теплові і відцентрові розширення робочого колеса знижуються і ПРЗ збільшується. Регулююче кільце 2 із вставками 6 має контакти з іншими корпусними деталями тільки по посадкам центруючого циліндра, виступу 4 і пружному ущільненню 17. Така конструктивна особливість зменшує перетікання тепла між регулюючим кільцем 2 і іншими корпусними деталями і при відсутності обдування рівносильна теплоізолюванню регулюючого кільця 2 від інших корпусних деталей.

При запусках і швидких наборах потужності струминне охолодження регулюючого кільця 2 також відключається, при цьому кільце та інші деталі пристрою прогріваються від газу з проточної частини, збільшуючи в такий спосіб розмір ПРЗ, що виключає врізання ротора в статор.

Слід зазначити, що заявлений пристрій на цей час успішно пройшов випробування на серійних двигунах ДН80Л, ДА91, ДН70Л, ДИ70П.



Фіг.