



УКРАЇНА

(19) UA (11) 1785 (13) U

(51) 7 F03B13/00, F03B3/04,  
F03B11/00, F16J15/34МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальністю  
власника  
патенту

(54) ПРЯМОТОЧНИЙ ГІДРОАГРЕГАТ

1

2

(21) 2002086497

(22) 05.08.2002

(24) 15.05.2003

(46) 15.05.2003, Бюл. № 5, 2003 р.

(72) Білокінь Ігор Іванович, Стеценко Юрій  
Миколайович, Гапонов Володимир Степано-  
вич, Андренко Павло Миколайович, Воскре-  
сенський Валентин Олексійович(73) СПІЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО ЗАКРИТОГО  
АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА "ХЕМЗ -  
ІРЕС"

(57) 1. Прямоточний гідроагрегат, виконаний у вигляді моноблока, що містить гідротурбину, яка включає камеру, робоче колесо з лопатями, ободом, маточиною та опорними цапфами, передній і задній статори, оснащені обтічниками, що вміщують підшипникові вузли, і виконані із зовнішніми циліндричними обичайками, що охоплюють проточний тракт турбіни, електричний генератор, ротор якого встановлений на ободі робочого колеса турбіни в порожнині статора генератора, обмеженої стінками його корпусу, і систему ущільнень з'єднань пар обертового руху, що ізолює від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора і підшипникові вузли, яка включає ущільнення порожнини статора генератора та ущільнення підшипникових вузлів, який відрізняється тим, що кожне з ущільнень порожнини статора генератора виконане у вигляді одинарного механічного торцевого ущільнення, встановленого в порожнині статора генератора і такого, що містить нерухоме і пружновстановлене ущільнювальні кільця, що утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання і виконані з плоскими кільцевими контактними поверхнями робочих торців, утворених шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь, контактний пружний елемент і вторинні ущільнення контактного типу, які забезпечують герметичність ущільнювальних кілець, виконані у вигляді кільцевих еластомірних ущільнювальних елементів, розміщених у кільцевих канавках, причому нерухомі ущільнювальні кільця розташовані на ободі робочого колеса, пружновстановлені ущільнювальні кільця розташовані з можливістю

кутових і осьових переміщень на зовнішніх циліндричних обичайках переднього і заднього статорів турбіни, кожна з циліндричних обичайок на тій її частці, де розташоване пружновстановлене ущільнювальне кільце, виконана з меншим зовнішнім діаметром, ніж її зовнішній діаметр на сусідній з ній частці її осьової довжини, і містить на згаданій першій частці два кільцевих установочних виступи, що примикають з двох боків до стінок канавки, в якій розміщений ущільнювальний елемент вторинного ущільнення.

2. Гідроагрегат за п. 1, який відрізняється тим, що кожне з ущільнень підшипникових вузлів виконане у вигляді одинарного механічного торцевого ущільнення, встановленого між підшипниковим вузлом і маточиною робочого колеса так, що воно оточує опорну цапфу робочого колеса, і такого, що містить нерухоме і пружновстановлене ущільнювальні кільця, які утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання і виконані з плоскими кільцевими контактними поверхнями робочих торців, утворених шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь, контактний пружний елемент і вторинні ущільнення, які забезпечують герметичність ущільнювальних кілець, причому нерухоме ущільнювальне кільце нерухомо встановлене у середині обтічника поряд з підшипниковим вузлом і його вторинне ущільнення виконане у вигляді кільцевого еластомірного ущільнювального елемента, вторинне ущільнення пружновстановленого кільця виконане у вигляді сильфона.

3. Гідроагрегат за п. 1, який відрізняється тим, що порожнина статора генератора заповнена діелектричною ридиною під тиском, який дорівнює атмосферному, і оснащена компенсатором тиску.

4. Гідроагрегат за п. 2, який відрізняється тим, що підшипникові вузли містять радіально-упорні конічні роликові підшипники кочення з регульованим натягом.

5. Гідроагрегат за п. 1, який відрізняється тим, що генератор виконаний у вигляді синхронного генератора із збудженням від висококоерцитивних постійних магнітів на основі композиції Nd-Fe-B.

6. Гідроагрегат за п. 1, який відрізняється тим, що гідротурбіна виконана у вигляді чотирьохлопатевої прямооточної осьової пропелерної турбіни

(19) UA (11) 1785 (13) U

обод з ротором, установлені в стінці корпусу генератора поза проточним трактом турбіни.

В цьому відомому гідроагрегаті наявність ущільнень, які ізолюють від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора і підшипникові вузли, не передбачена, оскільки циліндричний обод забезпечує повну герметизацію. Недоліками такого гідроагрегата є збільшений радіальний розмір і пов'язана з ним збільшена металомісткість, а також додаткові втрати води в місцях приєднання підвідного і відвідного трубопроводів. Додаткові втрати енергії виникають також через погіршення ефекту відновлення відсмоктувальної труби.

Відомий моноблочний гідроагрегат мікроГЕС із синхронним генератором зі збудженням від висококоерцитивних постійних магнітів, в якому ротор генератора, що являє собою обичайку із закріпленнями в ній постійними магнітами, прикріплений безпосередньо до периферійних кромek лопатей робочого колеса гідротурбіни, яке опирається на підшипники ковзання. Передбачено антикорозійний захист магнітів ротора від дії води подвійними і потрійними низькотемпературними покриттями на основі цинку, алюмінію і міді («Международная научно-техническая конференция «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования». Харьков, 18 - 22 сент., 2000г.: Тез. докл./НАН України и др. Редкол.: Ю.М. Мацевитый (отв.ред.) и др.- Харьков: Ин-т проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного 5 НАН Украины, 2000 г., с. 130) В цьому гідроагрегаті підвільні ущільнення, які захищають від дії води робочі елементи генератора, відсутні.

Достоїнствами цього відомого гідроагрегату є компактність, зручність в транспортуванні, просте конструктивне виконання, простота в експлуатації. Проте є істотні недоліки. Через відсутність ущільнень, що захищають від дії води і водяних парів робочі елементи конструкції генератора, може виникати гідроабразивний знос поверхонь у магнітному зазорі генератора під дією абразивних часток, що містяться у воді, корозія елементів конструкції генератора, що веде до зниження надійності роботи і зменшення міжремонтного періоду. Крім того, застосування опор ковзання ротора гідроагрегату, який складається з робочого колеса і ротора генератора, дозволяє установлювати гідроагрегат тільки в горизонтальному положенні, що ускладнює його монтаж. Довільна орієнтація у просторі цього гідроагрегату неминуче призвела б до порушення симетрії магнітного зазору між ротором і статором генератора внаслідок порушення співвісності і, тим самим, до порушення нормальної роботи гідроагрегату.

Найближчим аналогом пропонованого технічного рішення є прямоточний гідроагрегат мікроГЕС (пат. України № 12780 від 11.08.93р, приор. від 04.03.88р., ют. F03B 3/04, 13/00), виконаний у вигляді моноблока. Гідроагрегат містить гідротурбіну, електричний генератор і систему ущільнень з'єднань пар обертального руху. Гідротурбіна має камеру, робоче колесо з лопатями, ободом, маточиною й опорними цапфами, передній і задній статори, оснащені обтічниками, які уміщують підшипникові вузли. Передній і задній статори виконані із

зовнішніми циліндричними обичайками, що охоплюють проточний тракт турбіни. Ротор електричного генератора установлений на ободі робочого колеса турбіни в порожнині статора генератора, обмеженою стінками його корпусу. Система ущільнень ізолює від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора і підшипникові вузли. Вона включає у себе ущільнення порожнини статора генератора і ущільнення підшипникових вузлів. Кожне з ущільнень виконане у вигляді кільцевого ущільнення, установленного між осьовими краями ротора генератора і стінкою корпусу статора генератора, як видно із креслень.

Недоліком цього гідроагрегату є недостатньо висока надійність роботи і недостатній міжремонтний період через низьку ефективність використання у ньому кільцевих ущільнень, оскільки вони припускають певний протік і схильні до гідроабразивного зносу.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення моноблочного прямоточного гідроагрегату мікроГЕС, в якому за рахунок нового конструктивного виконання і розташування ущільнень, що ізолюють від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора, та використання в них спеціального твердосплавного композиційного матеріалу з високими технічними характеристиками забезпечується підвищення надійності роботи гідроагрегату і збільшення міжремонтного періоду.

Прямоточний гідроагрегат, згідно з корисною моделлю, як і найближчий аналог, виконаний у вигляді моноблока і містить гідротурбіну, електричний генератор і систему ущільнень з'єднань пар обертального руху. Гідротурбіна має камеру, робоче колесо з лопатями, ободом, маточиною й опорними цапфами, передній і задній статори, оснащені обтічниками, що уміщують підшипникові вузли. Передній і задній статори турбіни виконані із зовнішніми циліндричними обичайками, які охоплюють проточний тракт турбіни. Ротор електричного генератора установлений на ободі робочого колеса турбіни в порожнині статора генератора, обмежений стінками його корпусу. Система ущільнень ізолює від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора і підшипникові вузли. Вона включає у себе ущільнення порожнини статора генератора і ущільнення підшипникових вузлів. Відмінність прямоточного гідроагрегату, що заявляється, від найближчого аналогу полягає в тому, що кожне з ущільнень порожнини статора генератора виконане у вигляді одностороннього механічного торцевого ущільнення, установленного в порожнині статора генератора і такого, що містить нерухоме і пружновстановлене кільця, які утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання, контактний пружний елемент і вторинні ущільнення, що забезпечують герметичність ущільнювальних кілець. Ущільнювальні кільця виконані з плоскими кільцевими поверхнями робочих торців, утворених шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь. Вторинні ущільнення виконані у вигляді кільцевих еластомірних ущільнювальних елементів, розміщених у канавках. Нерухомі ущільнювальні кільця розташовані на ободі робочого колеса. Пружновстановлені ущільнювальні кільця розташовані з можливістю кутових і осьових переміщень

на зовнішніх циліндричних обичайках переднього і заднього статорів турбіни. Кожна з обичайок на тій її частці, де розташоване пружновстановлене ущільнювальне кільце, виконана з меншим зовнішнім діаметром, ніж її зовнішній діаметр на сусідній з ній частці її осьової довжини, і має на згаданій першій частці два кільцевих установочних виступи, що примикають з двох боків до стінок канавки, в якій розміщений ущільнювальний елемент вторинного ущільнення.

Крім того, кожне з ущільнень підшипникових вузлів виконане у вигляді одинарного механічного торцевого ущільнення, встановленого між підшипниковим вузлом і маточиною робочого колеса так, що воно оточує опорну цапфу робочого колеса, і такого, що містить нерухоме і пружновстановлене ущільнювальні кільця, які утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання, контактний пружний елемент і вторинні ущільнення, що забезпечують герметичність ущільнювальних кілець. Ущільнювальні кільця виконані з плоскими кільцевими контактними поверхнями робочих торців, утворених шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь. Нерухоме ущільнювальне кільце нерухомо встановлене усередині обтічника поряд з підшипниковим вузлом, і його вторинне ущільнення виконане у вигляді кільцевого еластомірного ущільнювального елемента. Вторинне ущільнення пружновстановленого ущільнювального кільця виконане у вигляді сильфона.

Порожнина статора генератора заповнена діелектричною рідиною під тиском, який дорівнює атмосферному, і оснащена компенсатором тиску.

Підшипникові вузли містять радіально-упорні конічні роликів підшипники кочення з регульованим натягом.

Генератор виконаний у вигляді синхронного генератора із збудженням від висококоерцитивних постійних магнітів на основі композиції Nd-Fe-B.

Гідротурбіна виконана у вигляді чотирьохлопатєвої прямої осьової пропелерної турбіни.

Прямоточний гідроагрегат такої конструкції, як заявляється, має підвищену надійність роботи і збільшений міжремонтний період внаслідок забезпечення практично повної герметизації стиків з'єднань пар обертального руху, яка виключає протіки, стабільно підтримуваної протягом тривалого часу.

Практично повна герметизація стиків з'єднань, через які порожнина статора генератора сполучається з проточним трактом турбіни, досягається завдяки виконанню кожного з ущільнень порожнини статора генератора у вигляді одинарного механічного торцевого ущільнення, що містить нерухоме і пружновстановлене ущільнювальні кільця, які утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання, контактний пружний елемент і вторинні ущільнення, що забезпечують герметичність ущільнювальних кілець, виконані у вигляді кільцевих еластомірних ущільнювальних елементів, розміщених у кільцевих канавках. У звичайній торцевій парі тертя обертання механічного торцевого ущільнення дві плоскі кільцеві контактні поверхні під дією контактної тиску, що прикладається з боку пружного елемента, щільно притиснуті один до одного так, що величина зазору визначається ступенем площинності контактних поверхонь і зале-

жить від ступеня чистоти обробки робочих торців ущільнювальних кілець. У даному випадку одинарне торцеве ущільнення забезпечує достатній ступінь герметизації стику.

Надійна герметизація порожнини статора генератора, яка зберігається протягом тривалого часу, досягається, в першу чергу, за рахунок виконання робочих торців ущільнювальних кілець у вигляді шару твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь, що складається з твердих зерен реліту (литого карбиду вольфраму, переважно з розміром зерна 0,18 - 0,28 мм (евтектика  $W_2C + WC$ ), цементованих прошарками міді. Твердосплавний шар реліт-мідь, нанесений на кільцеву основу ущільнювального кільця зі сталі, забезпечує високу зносостійкість і антифрикційність ущільнення, що зумовлено високою твердістю зерен реліту і антифрикційними властивостями міді. Торцеві пари тертя на основі композиційного матеріалу реліт-мідь ще більш зносостійкі, ніж пари тертя на основі металокерамічних вольфрамокарбідних твердих сплавів, і при цьому менш крихкі та не мають схильності до терморозтріскування. До того ж вони мають високу зносостійкість до гідроабразивного зносу завдяки високій твердості реліту. Внаслідок цього забезпечується висока довговічність торцевого ущільнення в умовах дії на нього води з високим вмістом абразивних часток.

Для забезпечення надійного функціонування ущільнень порожнини статора генератора вони встановлені в порожнині статора генератора, причому нерухомі ущільнювальні кільця розташовані на ободі робочого колеса і пружновстановлені ущільнювальні кільця розташовані з можливістю кутових і осьових переміщень на зовнішніх циліндричних обичайках переднього і заднього статорів турбіни.

Пропонована згідно з корисною моделлю зміна конфігурації зовнішніх циліндричних обичайок переднього і заднього статорів турбіни на тих частках їх осьової довжини, де розташовані пружновстановлені ущільнювальні кільця, дозволяє збільшити їх гранично допустимий кут повороту навколо відповідних еластомірних кільцевих ущільнювальних елементів вторинних ущільнень при збереженні надійної фіксації еластомірних ущільнювальних елементів у відповідних канавках. Це забезпечує можливість збереження взаємної паралельності сполучених контактних поверхонь робочих торців ущільнювальних кілець при змінах кутового положення контактних поверхонь робочих торців нерухомих ущільнювальних кілець, які обертаються разом із ротором. В результаті виключається можливість збільшення величини зазору під дією торцевого биття ущільнювальних кілець, що обертаються разом з ротором, яке могло б призвести до виникнення витіків через ущільнення.

Додаткове підвищення надійності роботи і збільшення міжремонтного періоду досягається за рахунок того, що ущільнення підшипникових вузлів, як і ущільнення порожнини статора генератора, виконані у вигляді одинарних механічних торцевих ущільнень, кожне з яких містить нерухоме і пружновстановлене ущільнювальні кільця, що утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання.

ня, контактний пружний елемент і вторинні ущільнення, які забезпечують герметичність ущільнювальних кілець, причому ущільнювальні кільця виконані з плоскими кільцевими контактними поверхнями робочих торців, утворених шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь, і нерухоме ущільнювальне кільце має кільцевий еластомірний ущільнювальний елемент. В усьому іншому ці ущільнення відрізняються від ущільнень порожнини статора генератора як формою виконання, так і взаємним розташуванням. Ці ущільнення практично повністю виключають протік через стики з'єднань. Практика використання цих ущільнень в екстремальних умовах електрообування глибоких свердловин і у заглибних електроагрегатах показала, що ресурс релітових торцевих ущільнень перевищує 22000-25000 годин.

Пропоноване виконання підшипникових вузлів дозволяє, за рахунок забезпечуваної довгочасно підтримуваної надійної герметизації стиків з'єднань пар обертального руху, використати в підшипникових вузлах стандартні радіально-упорні конічні роликові підшипники кочення з регульованим натягом, які заповнюються консистентним мастилом. Надійно герметизовані стики запобігають прониканню води у підшипники. Використання таких підшипників кочення обумовлене вимогою високої радіальної жорсткості підшипникових вузлів і збереження співзв'язності опорних цапф робочого колеса і підшипникових вузлів з метою виключення можливості порушення симетрії магнітного зазору в генераторі при довільній орієнтації гідроагрегату у просторі, що поширює можливості застосування різноманітних варіантів установа гідроагрегату та спрощує його монтаж.

Заповнення порожнини статора генератора діелектричною рідиною під тиском, що дорівнює атмосферному, та оснащення її компенсатором тиску при ізолюванні цієї порожнини від проточного тракту турбіни новими ущільненнями порожнини статора генератора надійно уберігає робочу обмотку статора генератора від дії води і водяних парів, яка знижує електричну міцність ізоляції. Це забезпечує додаткове підвищення надійності роботи і збільшує міжремонтний період гідроагрегату. Надійна герметизація порожнини статора генератора ущільненнями і перевищення тиску води в проточному тракту камери турбіни над тиском діелектричної рідини в порожнині статора генератора виключає можливість попадання діелектричної рідини, що міститься в порожнині статора генератора, у водяний потік, який проходить через камеру турбіни, що запобігає забрудненню навколишнього середовища. Крім того, наявність діелектричної рідини в порожнині статора генератора дозволяє поліпшити тепловідвід і тим самим підвищити питому потужність гідроагрегату.

Виконання генератора у вигляді синхронного генератора зі збудженням від висококоерцитивних постійних магнітів на основі композиції Nd-Fe-B дозволяє виключити системи і вузли, які обслуговують обмотку збудження і зазнають інтенсивний знос: колектор, апарат щіткодержача і т.д. Це, у свою чергу, дозволяє істотно спростити конструкцію і підвищити надійність роботи і ресурс гідроагрегату. Крім того, застосування постійних магнітів

на основі композиції Nd-Fe-B сприяє поліпшенню динамічної реакції, підвищенню коефіцієнта потужності і стійкості до перевантажень.

Виконання гідротурбіни у вигляді чотирьохлопатевої прямої осевої пропелерної гідротурбіни обумовлене тим, що така турбіна має найвищу пропускну спроможність з усіх відомих типів реактивних турбін.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, на яких зображені: на фіг.1 - прямої осевої гідроагрегат згідно корисної моделі (поздовжній розріз); на фіг.2 - вузол I на фіг.1 - торцеве ущільнення порожнини статора генератора у зборі, установлене на ободі робочого колеса турбіни і зовнішній циліндричній обичайці заднього статора турбіни (поздовжній розріз); на фіг.3 - вузол II на фіг.2 - вузол пружновстановленого ущільнювального кільця торцевого ущільнення статора турбіни і протилежної йому частки осевої довжини зовнішньої циліндричної обичайки заднього статора турбіни, причому показані різні кутові положення пружновстановленого ущільнювального кільця (поздовжній розріз).

Прямої осевої гідроагрегат виконаний у вигляді моноблока і містить гідротурбіну, електричний генератор і систему ущільнень з'єднань пар обертального руху, яка ізолює від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора і підшипникові вузли, що включає ущільнення порожнини статора генератора і ущільнення підшипникових вузлів. Моноблок має горизонтальну і вертикальну вісі симетрії.

Гідротурбіна виконана у вигляді чотирьохлопатевої прямої осевої пропелерної турбіни і має камеру 1 турбіни, робоче колесо, направляючий апарат, передній і задній статори, підшипникові вузли.

Робоче колесо турбіни складається з маточини 2, чотирьох лопатей 3, двох опорних цапф 4, розташованих з обох боків маточини 2, та обода 5 робочого колеса, установленого на периферійних кромках лопатей 3. Направляючий апарат утворений чотирма радіально усталовленими направляючими лопатками 6 і призначений для завдання певного напрямку потоку перед тим, як вода надходить на лопаті 3 турбіни.

Передній статор турбіни включає у себе зовнішню циліндричну обичайку 7, направляючі лопатки 6, які служать у цьому конкретному прикладі здійснення корисної моделі опорними колонами, і обтічник 8. Направляючі лопатки 6 нерухомо прикріплені до циліндричної обичайки 7 і обтічника 8 і служать фіксатором цього обтічника і гнізда усталовленого у ньому підшипникового вузла 9. Задній статор турбіни включає у себе зовнішню циліндричну обичайку 10, чотири радіально розташовані опорні колони 11 для випрямлення потоку води і обтічник 12, у якому розміщений підшипниковий вузол 13. Опорні колони 11 нерухомо прикріплені до внутрішнього боку циліндричної обичайки 10 і до обтічника 12 і забезпечують фіксацію підшипникового гнізда підшипникового вузла 13. Циліндричні обичайки 7,10 охоплюють проточний тракт турбіни.

Підшипникові вузли 9, 13 містять радіально-упорні конічні роликові підшипники кочення з регу-

льованим натягом, заповнені консистентним маслом.

Кожне з ущільнень підшипникових вузлів 9, 13 виконане у вигляді одинарного механічного торцевого ущільнення, що містить нерухоме ущільнювальне кільце 14, пружновстановлене ущільнювальне кільце 15, контактний пружний елемент 16 і вторинні ущільнення 17, 18. Вторинне ущільнення 17 виконане у вигляді кільцевого еластомірного ущільнювального елемента і забезпечує герметичність ущільнювального кільця 14. Вторинне ущільнення 18 виконане у вигляді сальфону і забезпечує герметичність ущільнювального кільця 15. Ущільнювальне кільце 14 нерухомо установлене усередині відповідного одного з обтічників 8, 12 поряд з відповідним одним з підшипникових вузлів 9, 13. Ущільнення підшипникових вузлів 9, 13 установлені між маточиною 2 робочого колеса і обтічниками 8, 12 так, що вони оточують опорні цапфи 4 і розташовані осесиметрично відносно них. Ущільнювальні кільця 14, 15 утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання і виконані з плоскими кільцевими контактними поверхнями робочих торців, утворених шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь.

Електричний генератор виконаний у вигляді 3-х фазного багатополюсного синхронного генератора зі збудженням від висококоерцитивних постійних магнітів на основі композицій Nd-Fe-B.

Ротор генератора містить обод 19 ротора і індуктор 20. Індуктор 20 являє собою комплект постійних магнітів і системи їх кріплення. Ротор 19, 20 генератора установлені на ободі 5 робочого колеса турбіни в порожнині 21 статора генератора, обмеженій ззовні стінками його корпусу 22, який утворює зовнішній кожух моноблока гідроагрегату. З внутрішнього боку порожнина 21 обмежена зовнішньою поверхнею зовнішніх циліндричних обичайок 7, 10 переднього і заднього статорів турбіни і зовнішньою поверхнею обода 5 робочого колеса. Корпус 22 статора генератора являє собою зварне з'єднання циліндричної обичайки і двох фланців. Статор генератора утворений корпусом 22 статора генератора і сердечником 23 з робочою обмоткою 24 статора генератора. До фланців корпусу 22 статора генератора болтовим з'єднанням прикріплені передній і задній статори гідротурбіни. На зовнішній поверхні корпусу 22 розташована гідрозахисна коробка електричних виводів (не показана).

Для запобігання попаданню води і водяних парів на робочу обмотку 24 статора генератора порожнина 21 статора генератора заповнена діелектричною рідиною під тиском, що дорівнює атмосферному. Постійність тиску діелектричної рідини в порожнині 21 підтримується за допомогою компенсатора тиску (не показаний). Наявність діелектричної рідини в порожнині 21 сприяє ефективному тепловідводу із зони робочої обмотки 24 через корпус 22 статора генератора в атмосферу і через передній і задній статори турбіни в воду.

Заповнена діелектричною рідиною порожнина 21 статора генератора ізолювана від проточного тракту турбіни за допомогою двох одинарних механічних торцевих ущільнень 25 порожнини статора генератора, кожне з яких містить нерухоме ущільнювальне кільце 26, пружновстановлене

ущільнювальне кільце 27 і вторинні ущільнення 29, 30. Ущільнення 25 установлені в порожнині 21 статора генератора, причому нерухомі ущільнювальні кільця 26 розташовані на роторній частині гідроагрегату, а саме на ободі 5 робочого колеса, і жорстко закріплені за допомогою шпонок 31, а пружновстановлені ущільнювальні кільця 27 розташовані з можливістю кутових і осьових переміщень на статорній частині гідроагрегату, а саме на зовнішніх циліндричних обичайках 7, 10 переднього і заднього статорів турбіни. Кожне ущільнювальне кільце 27 пружно установлене за допомогою контактної пружної елементи 28, який складається з пружин 32 і основи 33. Пружини 32 установлені у спеціальних гніздах в кільцевій основі 33 пружного елемента 28, посадженої на циліндричну поверхню кожної із зовнішніх циліндричних обичайок 7, 10 переднього і заднього статорів турбіни. За допомогою фіксаторів 34 рухомі в осьовому напрямку ущільнювальні кільця 27 і кільцеві основи 33 пружних елементів 28 стопоряться від прокручування під дією сил тертя в зоні взаємного контакту ущільнювальних кілець 26, 27.

Ущільнювальні кільця 26, 27 утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання і виконані з плоскими кільцевими контактними поверхнями робочих торців 35, завдяки чому вони щільно прилягають одне до одного. Зазор між ними дуже малий і не перевищує 0,02 - 0,05 мм. Робочі торці 35 ущільнювальних кілець 26, 27 утворені зносостійким шаром твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь, що складається з твердих зерен реліту (литого карбіду вольфраму, переважно з розміром зерна 0,18 - 0,28 мм (евтектика  $W_2C + WC$ ), зцементованих прошарками міді. Нанесений на кільцеву основу зі сталі твердосплавний шар реліт-мідь забезпечує високу зносостійкість і антифрикційність ущільнення, що обумовлено високою твердістю зерен реліту і антифрикційними властивостями міді. Завдяки високій твердості реліту торцеве ущільнення 25 порожнини статора генератора має високу стійкість до гідроабразивного зносу. Крім того, воно є термостійким. Ущільнювальні кільця 26, 27 із зносостійким покриттям на основі композиційного матеріалу реліт-мідь виготовляють відомим способом отримання зносостійкої поверхні (авт. св., СРСР № 221945 від 01.02.1966р., кл. B22f 7/04, B22f 3/06; «Избирательный перенос при трении и его экономическая эффективность: Материалы семинара», М., 1972, с. 183 - 188).

Кільцевий зазор між нерухомими ущільнювальними кільцями 26 і циліндричною поверхнею обода 5 робочого колеса герметизований вторинними ущільненнями 29, кожне з яких виконане у вигляді кільцевого еластомірного ущільнювального елемента круглого перерізу, виготовленого з маслостійкої гуми. Ущільнювальні елементи розміщені у спеціальних канавках 36, виконаних в ущільнювальних кільцях 26. Кільцевий зазор між пружновстановленими ущільнювальними кільцями 27 і циліндричною поверхнею зовнішніх циліндричних обичайок 7, 10 переднього і заднього статорів турбіни герметизований вторинними ущільненнями 30, кожне з яких виконане також у вигляді кіль-

цих ущільнень між підшипниковими вузлами 9, 13 і маточиною 2 робочого колеса турбіни навколо опорних цапф 4, виконання робочих торців ущільнювальних кілець 14, 15 із зносостійкого твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь і з плоскими контактними поверхнями з високим ступенем чистоти обробки, виконання вторинного ущільнення 17 нерухомого ущільнювального кільця 14 у вигляді еластичного кільцевого ущільнювального елемента круглого перерізу і вторинного ущільнення 18 пружновстановленого ущільнювального кільця 15 у вигляді сальфону забезпечує, при щільному притисненні контактних поверхонь робочих торців ущільнювальних кілець 14, 15 один до одного під дією контактної пружної елементи 16, практично повне виключення протіку через ущільнення підшипникових вузлів 9, 13 на тривалий час навіть при високому вмісті абразивних часток у водяному потоці

При роботі гідроагрегату тиск діелектричної рідини, що заповнює порожнину 21 статора генератора, підтримується рівним атмосферному тиску за допомогою компенсатора тиску (не показаний). Тиск води у проточному тракті камери 1 турбіни перевищує тиск діелектричної рідини в порожнині 21 статора генератора. Перевищення тиску води в проточному тракті турбіни над тиском діелектричної рідини, що заповнює порожнину 21 статора генератора, і надійна герметизація стиків з'єднань обода 5 робочого колеса турбіни з зовнішніми циліндричними обичайками 7, 10 відповідно переднього і заднього статорів турбіни за допомогою установлених в порожнині 21 статора генератора високозносостійких, довговічних одинарних механічних торцевих ущільнень 25 з гранично малим, стабільним за розміром зазором між щільно притиснутими одна до одної плоскими контактними поверхнями робочих торців 35 ущільнювальних кілець 26, 27, які утворюють торцеву звичайну пару тертя обертання, виключає попадання діелектричної рідини з порожнини 21 статора генератора в водяний потік, що проходить через проточний тракт турбіни, запобігаючи тим самим забрудненню навколишнього середовища, і виключає можливість проникнення води і водяних парів у порожнину 21 статора генератора, до робочих елементів генератора - робочої обмотки 24, сердечника 23 статора, постійних магнітів індуктора 20 його ротора. Діелектрична рідина забезпечує додаткову гідроізоляцію робочих елементів генератора, розміщених у порожнині 21 статора генератора, і крім того, сприяє більш ефективному тепловідводу із зони робочої обмотки 24 і сердечника 23 статора генератора через корпус 22 статора генератора в атмосферу і через зовнішні циліндричні обичайки 7, 10 відповідно переднього і заднього статорів турбіни - у водяний потік

Розташування ущільнювальних кілець 26, 27 відповідно на ободі 5 робочого колеса турбіни і зовнішніх циліндричних обичайках 7, 10 переднього і заднього статорів турбіни на їхніх краях, що

примикають до стиків, які герметизуються, дозволяє отримати між контактними поверхнями робочих торців 35 ущільнювальних кілець 26, 27 дуже малий зазор 0,02 - 0,05 мм, який підтримується за рахунок контактної натисненості на пружновстановлені кільця 27 пружин 32 контактних пружних елементів 28

До цього зазору з внутрішнього боку надходять вода і водяні пари, з зовнішнього боку - діелектрична рідина, що заповнює порожнину 21 статора генератора. Проте їх змішування практично відсутнє

За рахунок виконання робочих торців 35 ущільнювальних кілець 26, 27 з твердосплавного композиційного матеріалу реліт-мідь, що має високу зносостійкість, вода з абразивними частками, яка надходить до робочих торців 35, практично не викликає руйнування їх матеріалу, чому сприяє як висока твердість реліту, так і високі антифрикційні властивості міді і відсутність схильності до терморозтріскування. Торцева пара реліт-мідь має дуже високу довговічність

Запобігання проникненню води із проточного тракту турбіни у стики нерухомих з'єднань ущільнювальних кілець 26, 27 відповідно з ободом 5 робочого колеса турбіни і з зовнішніми циліндричними обичайками 7, 10 переднього і заднього статорів гідротурбіни забезпечується вторинними ущільненнями 29, 30 відповідно. Еластичні кільцеві ущільнювальні елементи круглого перерізу, розміщені в кільцевих канавках 36, 37, забезпечують достатньо високу герметичність стиків нерухомих з'єднань

У працюючому гідроагрегаті має місце торцеве биття нерухомих ущільнювальних кілець 26, що обертаються разом з ротором гідроагрегату, яке виявляється у зміні кутового положення робочих торців 35 цих ущільнювальних кілець, отже і їх контактних поверхонь. В гідроагрегаті, який заявляється, здійснюється компенсація торцевого биття, як показано на фіг. 2. За рахунок того, що збільшений зазор між ущільнювальними кільцями 27 і протилежними їм частками 38 осевої довжини зовнішніх циліндричних обичайок 7, 10 при збереженні надійної фіксації еластичних ущільнювальних елементів вторинних ущільнень 30 в кільцевих канавках 37 завдяки виконанню двох кільцевих установочних виступів 40, що примикають з двох боків до споків кожної з двох канавок 37, ущільнювальні кільця 27 при торцевому битті ущільнювальних кілець 26 повертаються на такий же кут, як і ущільнювальне кільце 26, під дією контактної натисненості з боку ущільнювальних кілець 26. В результаті зберігається взаємна

паралельність контактних поверхонь робочих торців 35 ущільнювальних кілець 26, 27, що забезпечує стабільність розміру установленного гранично малого зазору, який ізолює від проточного тракту турбіни порожнину статора генератора, у робочих режимах

17

1785

18

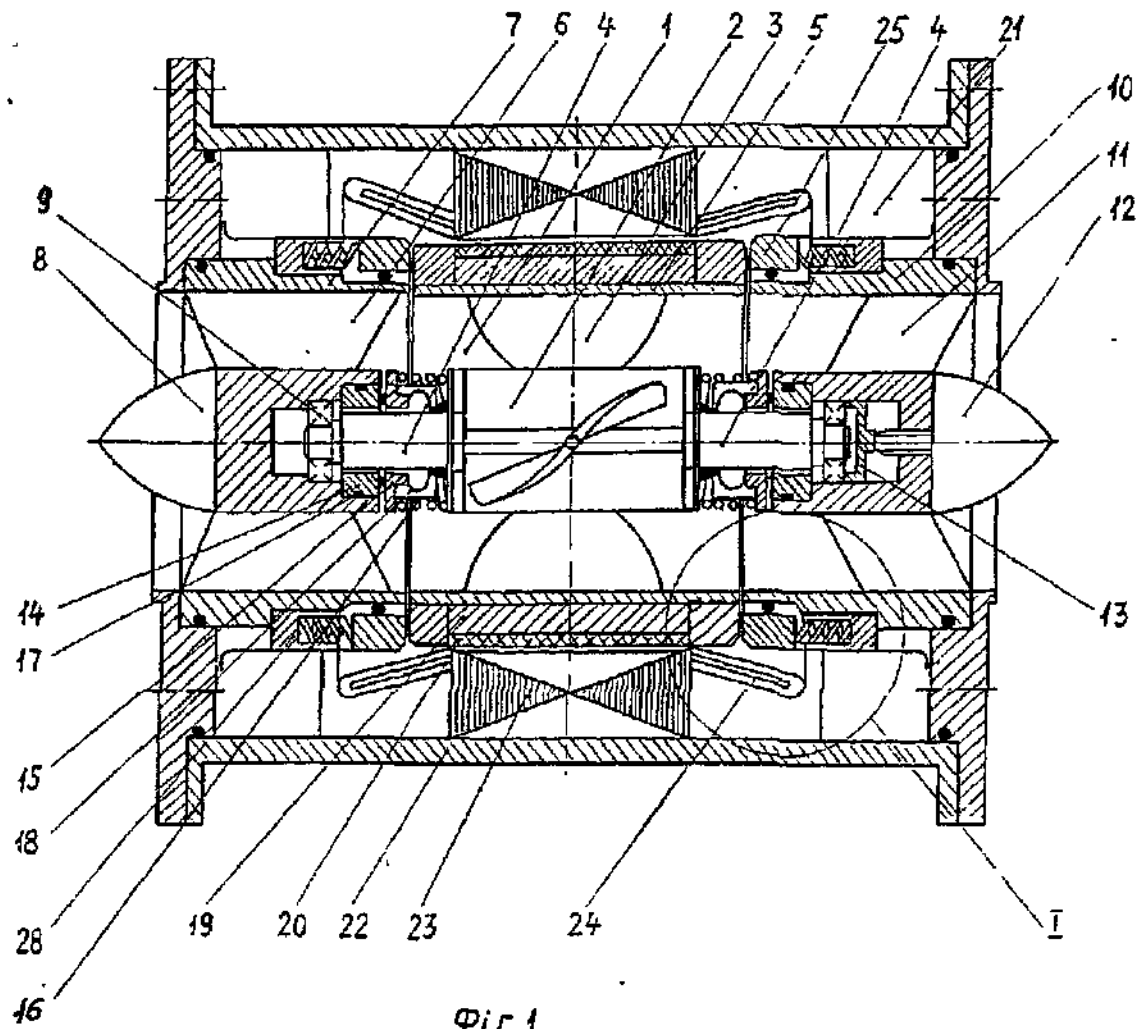


Fig. 1

I

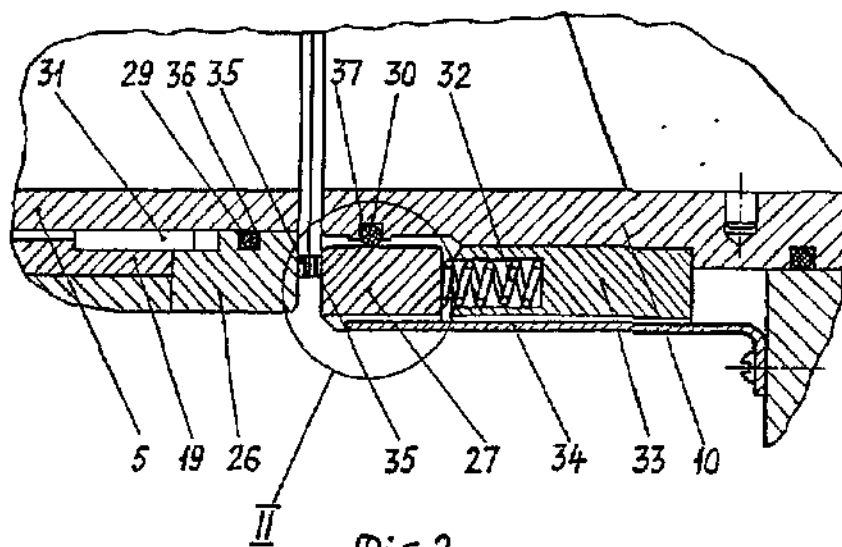


Fig. 2

