

УДК 621.224

СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ МАСЛОСИСТЕМИ РОБОЧОГО КОЛЕСА ПОВОРОТНО-ЛОПАТЕВИХ ГІДРОТУРБІН

¹ В. Г. Суботін, канд. екон. наукoffice@turboatom.com.ua

ORCID: 0000-0002-2489-5836

¹ О. С. Бураков, burakov.a.b.s@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3264-5300

¹ В. М. Єфименко, efimenko@turboatom.com.ua

ORCID: 0000-0003-2140-893X

¹ А. Ю. Старченко, starchenkoa@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9347-7059

² Ю. М. Ковальов, dnepr@sgem.com.ua

ORCID: 0000-0001-6425-4702

³ В. Л. Рассовський, uge2007@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8600-6881

¹ АТ «Турбоатом»,

61037, Україна, м. Харків, пр. Московський, 199

² ТОВ «Дніпро-Спецгідроенергомонтаж»04112, Україна, м. Київ, вул. Ігоря Сікорського,
б. 8, оф. 20³ ПрАТ «Укргідроенерго»

07300, Україна, Київська обл., м. Вишгород

Сформульовано основну мету реконструкції – збільшення терміну експлуатації гідротурбін Дніпровського каскаду, підвищення їх коефіцієнта корисної дії, потужності та екологічної безпеки, розширення діапазону регулювання потужності гідроелектростанцій, забезпечення надійності та підвищення безпеки роботи їх обладнання й споруд, виконання вимог із захисту навколишнього середовища, поліпшення якості електроенергії після реконструкції системи керування. У статті розглянуто та проаналізовано хронологію створення оптимальної конструкції маслопроводу поворотно-лопатевого вертикального гідроагрегату з урахуванням півстолітнього досвіду експлуатації та етапів модернізації гідротурбін Дніпровської ГЕС-2. Узасвідчено досвід удосконалення конструкції керування гідроагрегатом та системою маслоприймача від уніфікованої до створення принципово нової конструкції. Внесено зміни в технологію механічної обробки штанг маслосистеми та попереднього контролю. У систему керування впроваджено температурний контроль автоматичного вимкнення агрегату у випадку нагріву тулок маслоприймача. Вдосконалено технологію монтажу маслопроводу та впроваджено поопераційний контроль перевірки центрування монтажу маслопроводу. Внаслідок впровадження комплексу конструкторських і технологічних рішень створено оптимальну конструкцію маслопроводу підвищеної надійності, що зменшило кількість незапланованих простоїв агрегатів, знизило витрати на їхнє технічне обслуговування та забезпечило рекомендовану стандартами циклічність роботи насосів маслонапірної установки і, відповідно, знизило споживання електроенергії на власні потреби. Наведено об'єкти впровадження розробленої конструкції маслопроводу.

Ключові слова: поворотно-лопатева гідротурбіна, маслопровід, маслоприймач, штанги робочого колеса, сервомотор робочого колеса, самоустановлювані кільця.

Вступ

Каскад гідроелектростанцій, гребель і водосховищ, що існує на р. Дніпро в Україні, є однією з найкрупніших гідросистем світу. Першу гідроелектростанцію (ГЕС) системи (Дніпровську ГЕС-1) було збудовано коло міста Запоріжжя в 1934 р., а останню (Дніпровську ГЕС-2) було завершено в 1980 р. Загалом на ділянці р. Дніпро від Києва до Нової Каховки розташовано шість гребель і вісім гідроелектростанцій з 93 гідроагрегатами [1].

Існуюча пригреблева Дніпровська ГЕС-2 складається з 8 вертикальних гідравлічних агрегатів, вперше введених в експлуатацію в 1974 р. Із них шість турбін (агрегати ст. №№13-18) поставлялися як турбіни пропелерного типу, дві (агрегати ст. №11 та №12) – як поворотно-лопатеві турбіни.

На сьогодні п'ять гідроагрегатів уже модернізовано й на даному етапі реконструкції підлягають дві існуючі турбіни пропелерного типу (агрегати ст. №14 та №16). Їхня реконструкція включала переобладнання у турбіни поворотно-лопатевого типу, тобто у них необхідно вмонтувати механізм для керування кутом розгортання лопатей робочого колеса, що забезпечить досягнення максимального коефіцієнта корисної дії в кожній режимній точці зі збереженням комбінаторної залежності й роботи у межах гарантованих діапазонів потужності й напорів нетто.

Статтю ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons «Attribution» («Атрибуція») 4.0 Міжнародна.

© В. Г. Суботін, О. С. Бураков, В. М. Єфименко, А. Ю. Старченко, Ю. М. Ковальов, В. Л. Рассовський, 2021

ISSN 2709-2984. Проблеми машинобудування. 2021. Т. 24. № 3

Постановка задачі

Середній вік енергетичної інфраструктури Дніпровського каскаду на даний момент складає понад 35 років. Для того щоб гарантувати безпечну експлуатацію, довгострокову надійність і генеруючу потужність, основні об'єкти ГЕС мають пройти значну реконструкцію [2]. Після реконструкції гідроагрегатів також зменшиться кількість незапланованих простоїв і знизяться витрати на їхнє технічне обслуговування.

Основні цілі реконструкції:

- підвищення експлуатаційної надійності й продовження терміну служби гідроагрегатів за рахунок заміни зношених і морально застарілих вузлів із урахуванням сучасних вимог енергосистеми;
- підвищення коефіцієнта корисної дії і потужності турбіни;
- заміна застарілих вимірювальних приладів у системах керування;
- підвищення екологічної безпеки;
- розширення діапазону регулювання потужності турбіни.



Рис. 1. Маслоприймач гідроагрегату ст. №16 Дніпровської ГЕС-2

Маслопровід

Маслопровід призначений для підведення масла від маслонапірної установки до сервомотора робочого колеса, яким проводиться регулювання кута розгортання лопатей турбіни. Він складається з маслоприймача, штанг і сервомотора робочого колеса.

Маслопровід є одним із найважливіших вузлів поворотно-лопатевої гідротурбіни, як з точки зору надійності експлуатації агрегату, так і з точки зору екологічної безпеки.

Враховуючи значення цього вузла, йому приділяється особлива увага на всіх етапах створення – від розробки проекту до виготовлення, випробувань і монтажу.

До маслопроводу входять такі елементи: маслоприймач, штанги робочого колеса і сервомотор робочого колеса.

Маслоприймач (рис. 1) використовується для подачі масла під тиском із маслонапірної установки через головний золотник регулятора швидкості в порожнину сервомотора робочого колеса для відкриття й закриття лопатей, для зливу відпрацьованого масла в зливний бак маслонапірної установки.

В процесі початкового проектування гідротурбін Дніпровської ГЕС-2 в 70-х роках ХХ сторіччя було враховано весь досвід вітчизняного машинобудування, накопичений на той час [3]. Зокрема, в конструкції маслоприймача було застосовано класичну схему з двома концентричними штангами та трьома бронзовими втулками-буксами (рис. 2) [4].

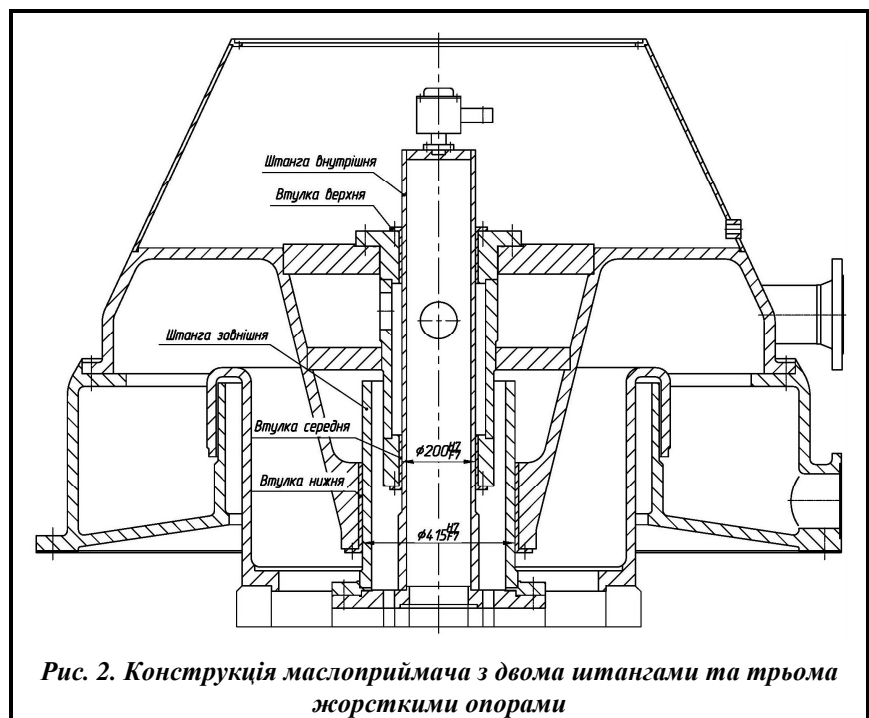


Рис. 2. Конструкція маслоприймача з двома штангами та трьома жорсткими опорами

Під час модернізації агрегатів, які пропрацювали 30–40 років, конструкція маслоприймача вдосконалювалася з урахуванням досвіду експлуатації та появи нових інженерних і технологічних рішень.

Зокрема, на першому етапі реконструкції для гідроагрегатів ст. № 13 і № 15 було застосовано конструкцію з однією штангою та трьома бронзовими втулками (рис. 3). Ця конструкція підвищила жорсткість штанг маслоприймача, виключивши фланцеве з'єднання зовнішньої та внутрішньої штанг, і дозволила виконувати проточування трьох робочих зон на штанзі з однієї установки для забезпечення співвісності поверхонь. Жорстку трьохопорну схему було збережено.

На другому етапі реконструкції для агрегатів №№ 11, 17, 18 було спроектовано та впроваджено конструкцію з однією штангою, середньою та нижньою бронзовими втулками та однією плаваючою верхньою втулкою. Верхню бронзову втулку було замінено набором самоцентрівних бронзових і сталевих кілець, що їх розділяють за зовнішньою посадкою (рис. 4). Окрім того, в верхній і нижній опорах було встановлено поліуретанові манжети.

Заміна верхньої жорсткої опори (втулки) на самоустановлювані кільця дозволила впровадити конструкцію маслоприймача, котра забезпечила перехід на двохопорну систему. Встановлення ущільнювальних U-подібних манжет на штанзі маслоприймача спростило його центрування й практично виключило проміжки в опорних вузлах, що значно скоротило перетікання масла та покращило циклічність роботи насосів маслonaпірної установки.

Під час розробки проекту реконструкції гідроагрегатів ст. №14 і №16, спільно зі спеціалістами ПрАТ «Укргідроенерго» та експлуатаційним персоналом ГЕС, проаналізовано досвід експлуатації конструкцій маслоприймача раніше реконструйованих агрегатів. В його конструкцію впроваджено такі рішення:

- схема з однією штангою маслоприймача підвищила жорсткість штанги та забезпечила співвісність робочих поверхонь штанги;
- верхню й середню опори замінено на самоустановлювані кільця, нижня виконана як жорстка втулка, що забезпечило центрування штанги лише по нижній втулці, середня та верхня – самоустановлювані;

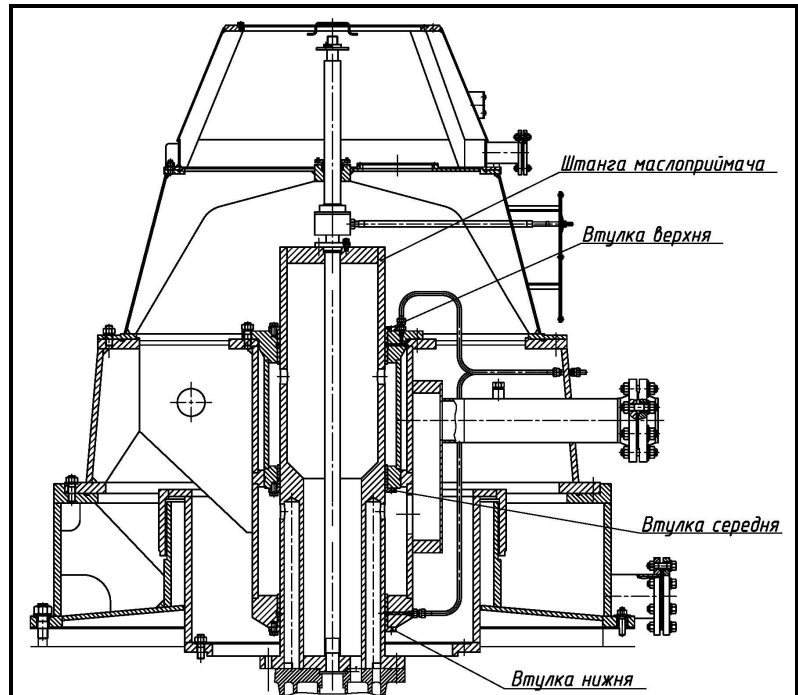


Рис. 3. Конструкція маслоприймача з однією штангою та трьома жорсткими опорами

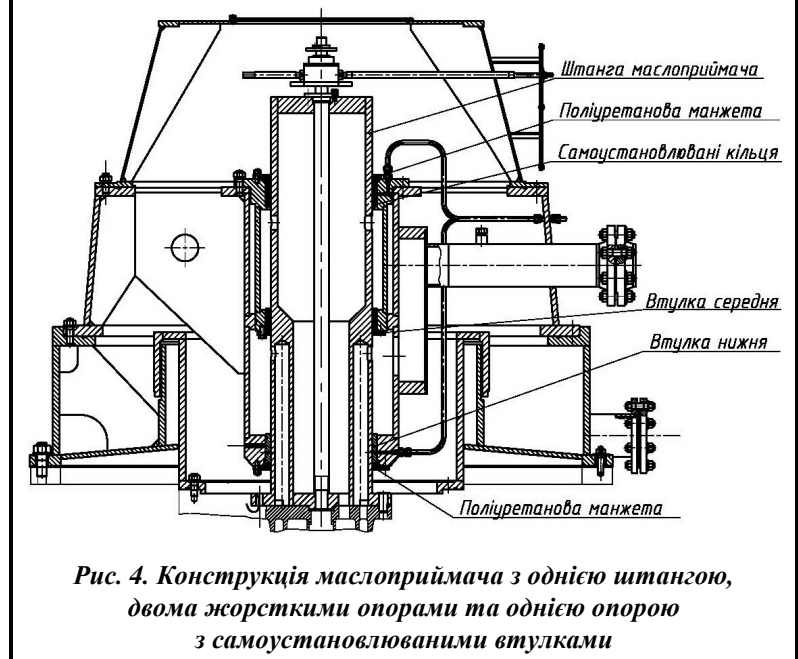


Рис. 4. Конструкція маслоприймача з однією штангою, двома жорсткими опорами та однією опорою з самоустановлюваними втулками

– у верхній та нижній опорах встановлено манжети з підведенням масла для змащування їх поверхонь; це забезпечило мінімізацію протікань і збільшення циклічності увімкнення насосів маслонапірної установки;

– зміцнення робочої поверхні штанги хромуванням збільшило різницю за твердістю між деталями пар тертя;

– контроль температури бронзових втулок забезпечує автоматичне вимкнення у випадку нагріву;

– застосування дворядного гребеня дозволило запобігти переливанню масла через масловідбивач.

Ця конструкція маслоприймача (рис. 5) розглядається як оптимальна під час експлуатації, а монтажною організацією (ТОВ «Дніпро-Спецгідроенергомонтаж») – як раціональна при монтажу на об'єкті.

Штанги робочого колеса встановлюються всередині валу турбіни. Оскільки ці штанги мають достатню велику довжину (до 10 метрів), то опорні поверхні в верхній і нижній частинах валу бронзові. Верхня штанга з'єднана зі штангою маслоприймача, а нижня – з маслорозподільником робочого колеса. З міркувань зручності виготовлення, транспортування та монтажу, штанги робочого колеса вздовж розділені на 2 або 3 частини. Кожна частина виконана зварною з двох концентричних сталевих труб різного діаметра та фланців, вставлених аксіально одна в одну, створюючи дві напірні порожнини для системи регулювання. Штанги з'єднуються одна з одною фланцями й ущільнюються вздовж роз'єму встановленим гумовим шнуром (рис. 6).

Враховуючи велику кількість фланцевих роз'ємів вздовж маслопроводу, для забезпечення відповідності вимогам із відсутності зламів і мінімізації биття впроваджено технологію обробки деталей «парами». Після остаточної механічної обробки кожного елемента трубопроводу виконується контрольне з'єднання на токарному верстаті таких деталей: «маслорозподільник – нижня штанга робочого колеса» і

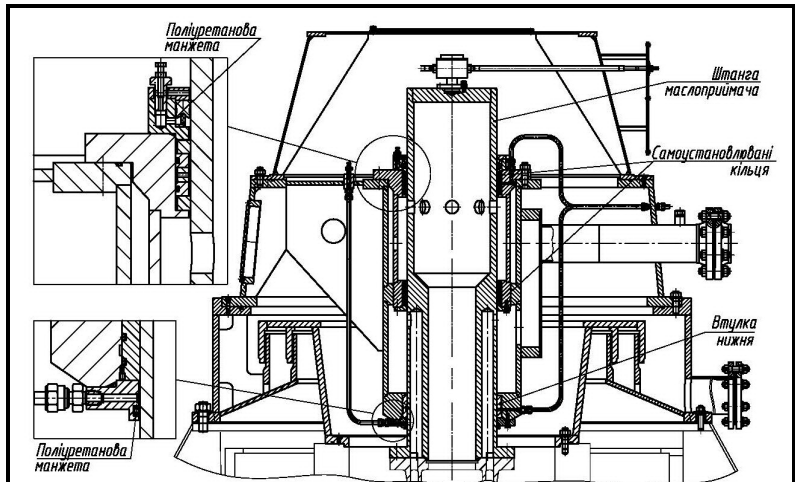


Рис. 5. Конструкція маслоприймача з однією штангою, однією жорсткою опорою та двома опорами з самоустановлюваними втулками

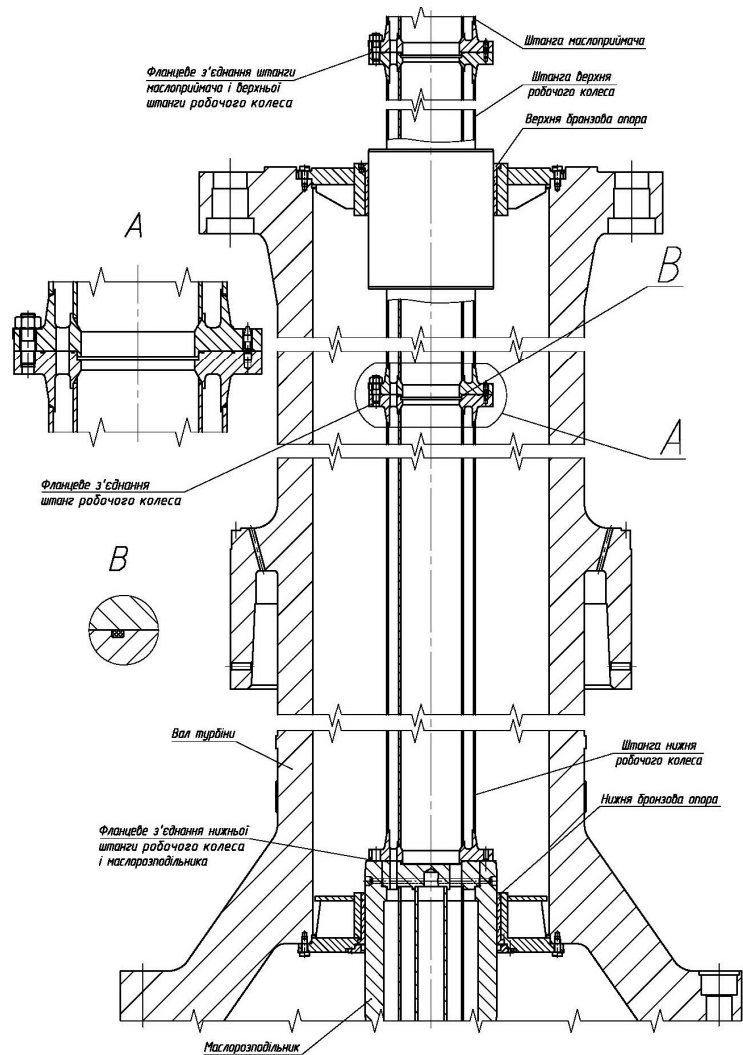


Рис. 6. Встановлення штанг робочого колеса

«верхня штанга робочого колеса – штанга маслоприймача». Під час виконання цієї операції здійснюється перевірка на биття, яке за необхідності усувається.

Сервомотор робочого колеса розташований у верхній частині корпусу робочого колеса і зверху закрито фланцем валу турбіни (рис. 7).

Керування сервомотором робочого колеса здійснюється наявною системою регулювання.

Поршень сервомотора виготовлено відлитим із вуглецевої сталі марки 20ГСЛ. Для виключення появи задирів на поршні та циліндрі сервомотора по зовнішньому діаметру поршня виконане бронзове наплавлення. Для того щоб запобігти протіканню масла з однієї порожнини сервомотора в іншу, на поршні встановлені ущільнювальні елементи, які забезпечують щільний контакт з внутрішньою поверхнею циліндра та рівномірний тиск на неї.

Шток робочого колеса має центральний отвір для забезпечення вільного витікання зайвого масла з порожнини механізму розвороту лопатей робочого колеса в порожнину валу, а потім через дренажну трубу маслоприймача в зливний бак маслонапірної установки системи регулювання.

Висновки

Комплекс реалізованих конструктивних рішень з ущільнення штоку, поршня, маслорозподільника та маслоприймача дозволив забезпечити відсутність перетікань між порожнинами сервомотора робочого

колеса та маслоприймача. Тим самим є можливість здійснювати рекомендовану стандартами циклічність роботи насосів маслонапірної установки і, відповідно, зменшувати споживання електроенергії на власні потреби.

Впроваджена нова технологія обробки деталей маслопроводу «парами» забезпечила досягнення проектних значень із биття та центрування штанги маслоприймача під час монтажу й виключила можливий злам штанг у фланцевих з'єднаннях.

На цей час цю конструкцію маслопроводу для вертикальних поворотно-лопатевих гідротурбін ухвалено Замовником (ПрАТ «Укргідроенерго») та монтажною організацією (ТОВ «Дніпро-Спецгідроенергомонтаж») і впроваджено АТ «Турбоатом» під час реконструкції таких гідроагрегатів: ст. №14 і №16 Дніпровської ГЕС-2, ст. №4 і №5 Кременчуцької ГЕС і ст. №1 і №2 Середньодніпровської ГЕС.

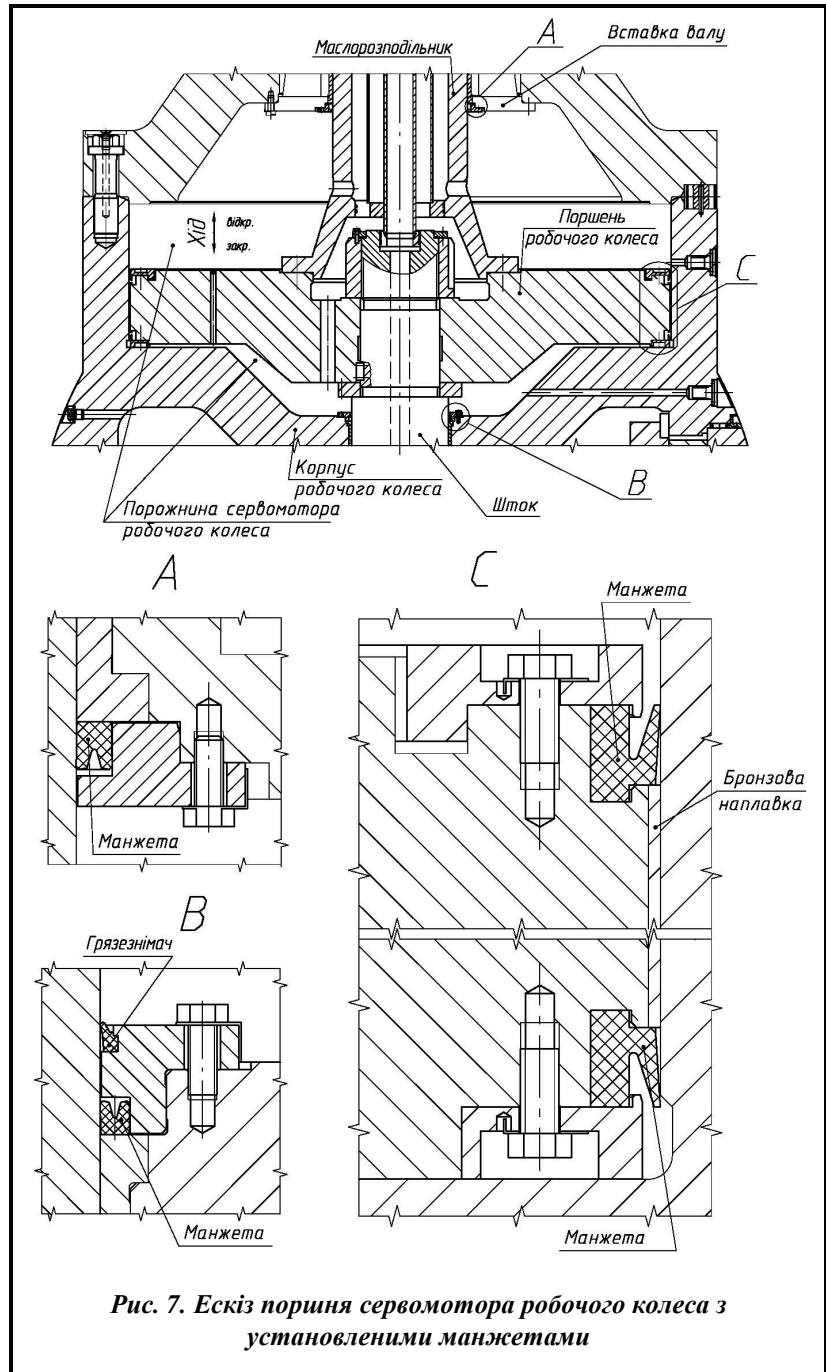


Рис. 7. Ескіз поршня сервомотора робочого колеса з установленими манжетами

Література

1. Линник А. В. , Хаитов В. Д. . Современный уровень и основные направления развития гидротурбостроения в Украине. *Пробл. машиностроения*. 2010. Т. 13. № 1. С. 11–18.
2. Линник О. В., Бугаєць А. О. Наукові досягнення гідротурбобудування та їх впровадження в реконструкцію Дніпровського каскаду ГЕС *Гідроенергетика України*. 2004. № 2. С. 15–20.
3. Справочник по гидротурбинам: под общ. ред. Н. Н. Ковалева. Л.: Машиностроение, 1984. 496 с.
4. Субботин В. Г. , Левченко Е. В. , Ефименко В. Н. Оборудование ОАО «Турбоатом» для гидроэлектростанций Украины: модернизация, реабилитация и перспективы создания новых типов. *Гидроэнергетика Украины*. 2009. № 2. С. 33–34.

Надійшла до редакції 29.07.2021

Создание оптимальной конструкции маслосистемы рабочего колеса поворотно-лопастных гидротурбин

¹ В. Г. Субботин, ¹ А. С. Бураков, ¹ В. Н. Ефименко, ¹ А. Ю. Старченко, ² Ю. Н. Ковалёв, ³ В. Л. Рассовский

¹ АО «Турбоатом», 61037, Украина, г. Харьков, пр. Московский, 199

² ООО «Днепр-Спецгидроэнергомонтаж», 04112, Украина, г. Киев, ул. Игоря Сикорского, д. 8, оф. 20

³ ЧАО «Укргидроэнерго», 07300, Украина, Киевская обл., г. Вышгород

Сформулирована основная цель реконструкции – увеличение срока эксплуатации гидротурбин Днепровского каскада, повышение их коэффициента полезного действия, мощности и экологической безопасности, расширение диапазона регулирования мощности гидроэлектростанций, обеспечение надежности и повышение безопасности работы их оборудования и сооружений, выполнение требований по защите окружающей среды, улучшение качества электроэнергии после реконструкции системы управления. В статье рассмотрена и проанализирована хронология создания оптимальной конструкции маслопровода поворотно-лопастного вертикального гидроагрегата с учетом полувекового опыта эксплуатации и этапов модернизации гидротурбин Днепровской ГЭС-2. Обобщен опыт совершенствования конструкции управления гидроагрегатом и системой маслоприемника от унифицированной до создания принципиально новой конструкции. Внесены изменения в технологию механической обработки штанг маслосистемы и предварительного контроля. В систему управления введен температурный контроль автоматического отключения агрегата в случае нагрева втулок маслоприёмника. Усовершенствована технология монтажа маслопровода и введен пооперационный контроль проверки центровки монтажа маслопровода. В результате внедрения комплекса конструкторских и технологических решений создана оптимальная конструкция маслопровода повышенной надежности, что уменьшило количество незапланированных простоев агрегатов, снизило расходы на их техническое обслуживание и обеспечило рекомендованную стандартами цикличность работы насосов маслонапорной установки и, соответственно, снизило потребление электроэнергии на собственные нужды. Приведены объекты внедрения разработанной конструкции маслопровода.

Ключевые слова: поворотно-лопастная гидротурбина, маслопровод, маслоприемник, штанги рабочего колеса, сервомотор рабочего колеса, самоустанавливающиеся кольца.