



УДК 627.8.001.5

РЯБЕНКО О.А., докт. техн. наук, професор, зав. кафедри гідроенергетики та гідравлічних машин, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне.

ЧЕРНОБИЛЬ О.Є., канд. техн. наук, заст. нач. науково-дослідного відділу ТОВ "Гідротехпроект", м. Харків.

ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВІДНО-НАПІРНОГО ТУРБІННОГО ТРАКТУ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС

доповідь на VII Міжнародній конференції гідроенергетиків

"Сталий розвиток гідроенергетики, як основа мобільності та маневреності ОЕС України"

Представлені результати натурних спостережень за напружено-деформованим станом елементів напірного тракту турбін Дністровської ГАЕС. Проаналізовано розбіжність між натурними і розрахунковими значеннями напружень в елементах напірного тракту, їх технічний стан та відповідність вимогам експлуатаційної надійності та несучої здатності.

К л ю ч о в і с л о в а: гідроенергетика, напірний тракт, напружений стан, спіральна камера.

Дністер — найбільш важлива річка західної і південної України та Молдови. Загальна довжина річки становить 1362 км, з яких 925 км протікає по території України. Басейн Дністра становить 72100 км², з яких 73% розташовані в Україні та 27% — у Молдові. Річка Дністер бере свій початок в Карпатах на висоті 818 м над рівнем моря і впадає в Дністровський лиман, з'єднаний з Чорним морем.

На сьогодні проекти гідроенергетики допомагають стабілізувати ситуацію на енергетичному ринку України. Згідно зі стратегією розвитку до 2030 р. ПАТ "Укргідроенерго" передбачається збільшення потужностей гідроенергетики в загальному обсязі генерації з нинішніх 7% до 15%. Дністровська ГАЕС — є невід'ємною складовою частиною енергетичної стратегії держави [11].

Уточнений проект першої черги Дністровської ГАЕС у складі трьох агрегатів був розроблений ПАТ "Укргідропроєкт". Відповідно до нього, експлуатація гідроагрегатів № 1–3 здійснюється з використанням всієї верхньої водойми з корисним об'ємом, при якому забезпечується робота ГАЕС в турбінному режимі встановленою потужністю 972 МВт безперервно протягом 4-х годин.

В 2013 р. верхня водойма Дністровської ГАЕС добудована до повної проектної готовності. Основні показники Дністровської ГАЕС при роботі в повному обсязі 7 гідроагрегатів приведені в Табл. 1.

На етапі проектування Дністровської ГАЕС були отримані розрахункові значення для всіх елементів напірного тракту. З часу введення гідроагрегатів в експлуатацію візуальні спостереження та показники контрольно-виміральної апаратури

(КВА) контролюють, наскільки прогнозовано ведуть себе всі елементи напірно-підвідного турбінного тракту. Як саме проводяться натурні спостереження з метою забезпечення експлуатаційної надійності ГАЕС та які процеси відслідковуються у залізобетонних конструкціях споруд — саме ці питання висвітлюються в даній статті.

З часом на Дністровській ГАЕС намічено встановити сім оборотних гідроагрегатів потужністю 324/421 МВт кожний з насос-турбінами радіально-осьового типу. Напірно-підвідний тракт турбін включає водоприймач, напірний турбінний водовід і турбінний блок будівлі ГАЕС. Від водоприймача до агрегатних шахт споруди ГАЕС підходять сім ниток водоводів, кожна з яких включає:

- вертикальний водовід зі сталезалізобетонним кріпленням висотою близько 100 метрів, діаметром 7,5 метрів;
- горизонтальну ділянку довжиною близько 400 метрів такого ж діаметру, з яких 200 метрів з залізобетонним кріпленням, а 200 метрів — зі сталезалізобетонним кріпленням.

З самого початку будівництва Дністровської ГАЕС комплекс робіт з натурних контрольних спостережень за станом конструкцій виконує ПАТ "Укргідропроєкт" у відповідності до вимог діючих норм [1 – 3].

Таблиця 1. Основні показники Дністровської ГАЕС

Найменування	Одиниці виміру	Величини (7 агрегатів)
Потужність електрична встановлена:		
- у генераторному режимі	МВт	2268
- у насосному режимі	МВт	2947
Нормальний підпірний рівень (НПР)		
- верхньої водойми	м	229,500
- нижнього водосховища	м	77,100

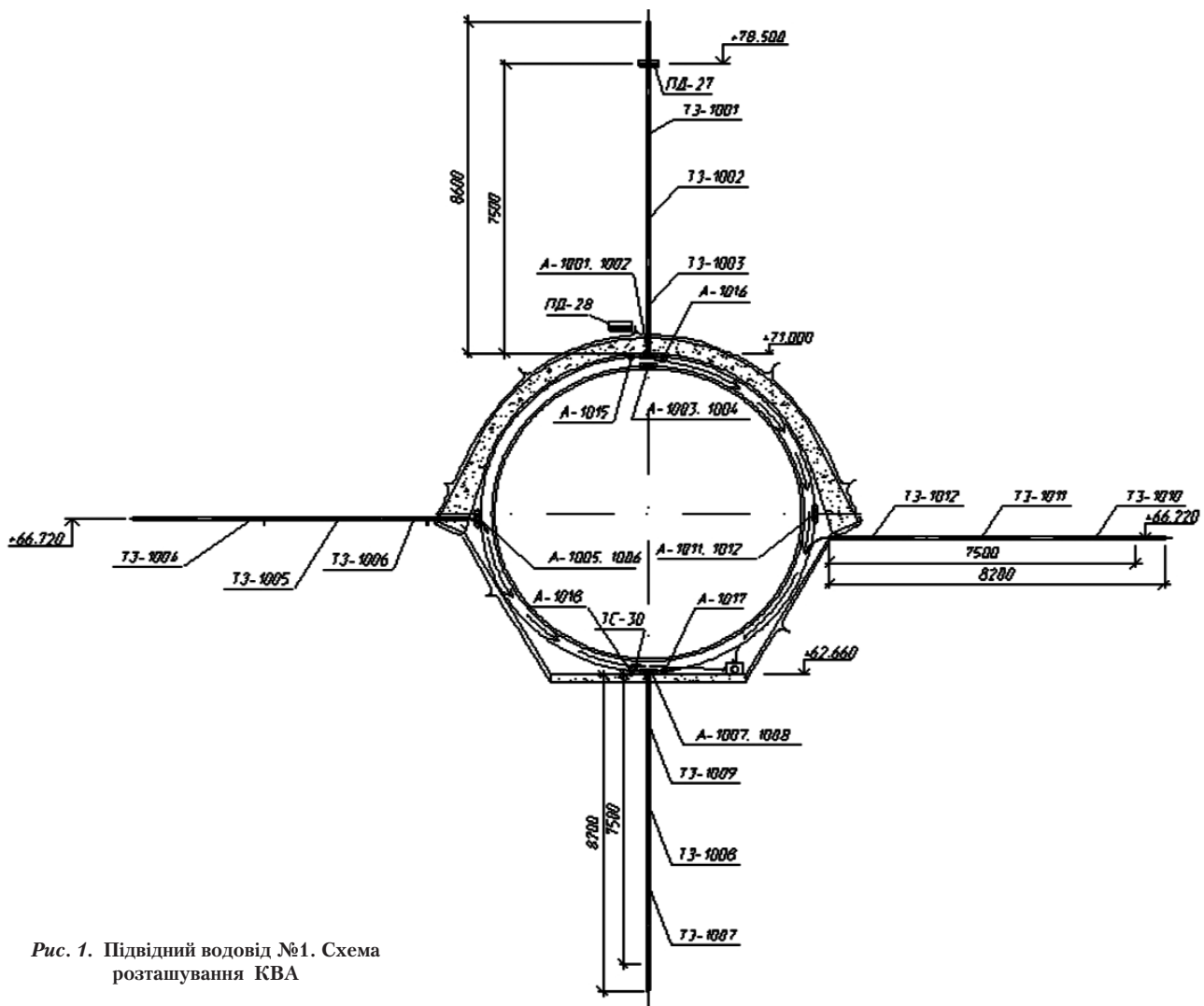


Рис. 1. Подвідний водовід №1. Схема розташування КВА

У підвідних водоводах спостереження за напруженим станом залізобетонного облицювання проводяться за допомогою дистанційної КВА. Така апаратура встановлена у вимірювальних перерізах кожного водоводу в наступному складі:

- перетворювачі сили арматурні ПСАС-28 (арматурні динамометри) — для вимірювання діючих в арматурі зусиль;
- перетворювачі температури ПТС-60 (дистанційні термометри) — для вимірювання температури бетону і скелі;
- перетворювачі лінійних деформацій ПЛДС-2000 (телетензометри) — для вимірювання лінійних деформацій прилеглого скельного масиву;
- перетворювачі тиску ПДС-30П і ПДС-3П (п'єзодинамометри) — для вимірювання тиску води на облицювання і в середині облицювання.

У експлуатаційний період напружено-деформований стан турбінних водоводів визначається:

- гідростатичним навантаженням;
- рівнем технологічних напружень, сформова-

них в процесі будівництва;

- сезонними змінами температури повітря і води в водоводі;
- напружено-деформованим станом скельного масиву;
- гідродинамічним тиском, що може виникнути в результаті гідродару.

При наповненому водоводі кільцеві напруження в його елементах є розтягуючими і збільшуються по мірі зростання гідростатичною навантаження.

При спорощенні проточної частини турбін, при проведенні планових ремонтів гідроагрегатів, і відсутністю внутрішнього тиску води спостерігається різке зменшення кільцевих напружень в облицюванні водоводу. Різниця кільцевих напружень, що діють в елементах водоводу до і після його спорощення відповідає напрузі, викликаній внутрішнім гідростатичним тиском. Залишкова частина напружень в умовах осушеного водоводу визначає частку напруг від зовнішніх температурних впливів і технології будівельного періоду.



Кожен турбінний блок ГАЕС включає в себе спіральну камеру, яка забезпечує системний підвід води на турбіну. В складі водовідвідного тракту спіральні камери працюють в самих складних умовах, так як саме в них виникає значна напруга від дії динамічних навантажень води. Враховуючи, що з часом інші гідроагрегати будуть побудовані та удосконалені, виходячи з щорічного досвіду натурних спостережень за експлуатацією існуючих, питання контролю за експлуатацією споруд залишається досить важливим.

Спіральна камера гідромашини сталезалізобетонної конструкції, що повністю сприймає гідравлічний тиск води, складається з внутрішньої металевої оболонки, кільцевої, торової і консольної арматури, — однопідвідна з кутом охоплення 340° . Діаметр вхідного перерізу камери становить 5,6 м. Оболонка спіральної камери зварена, складається з 33 ланок різної товщини, виготовлених з листового прокату сталі. Спіральна камера має радіальний переріз, що поступово зменшується від вхідного перерізу до кінця камери, до так званого зуба спіралі.

Металева оболонка виконана із сталі 09Г2С з розрахунковим опором 170 МПа і нормативною межею текучості 290 МПа. Її найбільша товщина дорівнює 32 мм. Максимальний діаметр кільцевої арматури класу А-II, що підсилює сталеву оболонку, досягає 40 мм. Торова арматура того ж класу має найбільший діаметр 32 мм. З залізобетоном турбінного блоку спіральна камера має жорстке сполучення.

Відповідно до норм проектування [4–6] розрахунки міцності сталезалізобетонних спіральних камер виконувались по першій групі гранич-

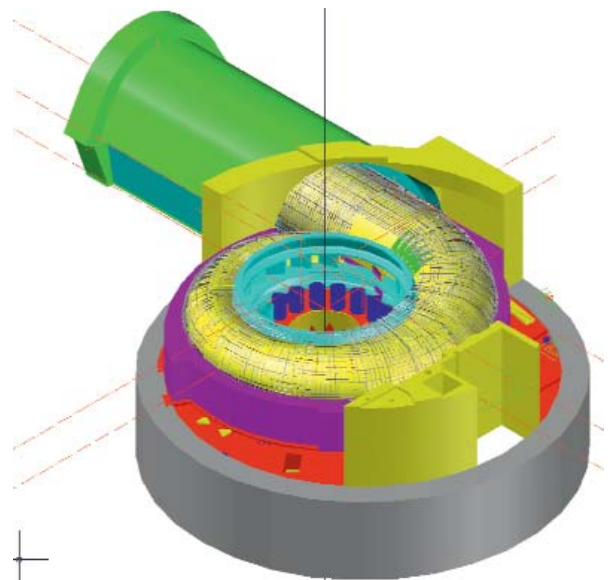


Рис. 2. Трьохвимірне зображення масиву спіральної камери

них станів.

Результати розрахунків армування масиву спіральної камери приведені в [8]. При конструюванні турбінного блоку Дністровської ГАЕС були закладені наступні основні положення:

- армування спіральної сталезалізобетонної камери було виконано відповідно до норм проектування [4, 6] та рекомендацій [7];
- розрахункова консольна арматура з боку турбіни приварювалась або до ребер спіральної камери, або за відсутності ребер на статор турбіни;
- арматура в напрямку твірної (торів) розташовувалась в один ряд із зовнішнього боку від робочої кільцевої арматури. Площа перерізу торів арматури рівна 40% від площі перерізу кільцевої арматури [4, 9].

Для детального конструювання масиву спіральної камери спеціалістами ПАТ "Укргідропроект" виконано тривимірне моделювання кон-



Рис. 3. Монтажні роботи по установці арматури

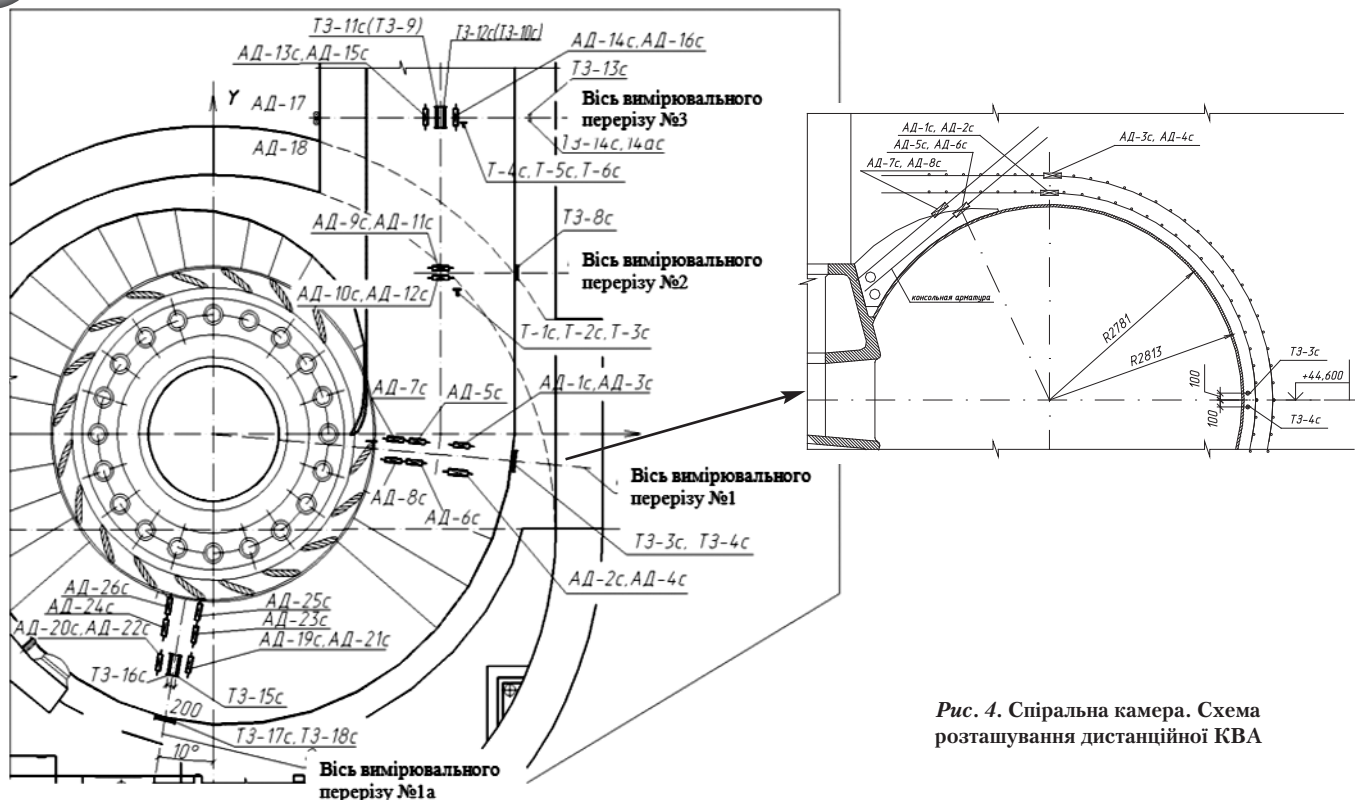


Рис. 4. Спіральна камера. Схема розташування дистанційної КВА

струкції в Mechanical Desktop (Рис. 2).

Будівництво спіральних блоків виконувалося під авторським наглядом ТОВ "Укргідропроєкт", на Рис. 3 представлено виконання монтажних робіт по установці арматури.

Контроль напруженого стану спіральних камер гідроагрегатів № 1, 2 здійснюється за допомогою дистанційної КВА, встановленої в її несучих елементах в перерізах 1, 1а, 2 і 3 (Рис. 4).

Інструментальні спостереження за станом сталезалізобетонних спіральних камер гідроагрегатів №1 і №2 включають спостереження за напружено-деформованим станом. Перетворювачі сили арматурні встановлені в 4 перерізах в кількості 26 штук на відмітках від 41,280 м до 48,100 м. Характер зміни кільцевих напружень в оболонці і арматурі спіральної камери, відмінний від характеру зміни гідростатичною навантаження. Це вказує на істотну роль температурних впливів у формуванні напруженого стану.

За період нормальної експлуатації зростання кільцевих розтягуючих напружень не спостерігається, напруження в кільцевій арматурі не значні і не перевищують 100 МПа. Зміни носять сезонний характер, обумовлений температурними коливаннями.

Лінійні деформації масиву спіральної камери шахт гідроагрегатів № 1 і № 2 не перевищують рекомендованих гранично допустимих показників.

Висновки

1. На Дністровській ГАЕС запроєктовано і встановлено комплекс КВА, який забезпечує надійний і оперативний контроль за станом елементів підвідно-напірного турбінного тракту.

2. Результати інструментальних натурних спостережень за напружено-деформованим станом елементів підвідного напірного тракту турбін свідчать про те, що поступово відбуваються процеси, які ведуть до перерозподілу напружень між металом і бетоном композитної конструкції і викликають як збільшення напружень в металевих елементах тракту, так і зменшення їх. При цьому очевидні ознаки зниження інтенсивності цих процесів.

3. Максимальні напруження розтягують кільцеві напруги в металевій оболонці, у внутрішній і зовнішній арматурі напірного тракту і не перевищують рекомендованих гранично допустимих показників.

4. Натурні спостереження за напружено-деформованим станом турбінних водоводів дозволяють стверджувати, що технічний стан елементів тракту в даний час не викликає занепокоєння. Конструкція турбінного блока зі сталезалізобетонною оболонкою спіральної камери задовольняє пропонованим вимогам з експлуатаційної надійності та несучої здатності [10].

5. Характер розподілу напружень в арматурі сталезалізобетонної спіральної камери відповідає



натурним даним. Розбіжність між натурними і розрахунковими значеннями напружень в кільцевій арматурі не перевищує 15%, що є свідченням того, що результати розрахунків узгоджуються з даними натурних спостережень.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.4:2010 "Гідротехнічні споруди. Основні положення". Мінрегіонбуд України, Київ. 2010 г.
2. *Правила* технічної експлуатації електричних станцій і мереж" ГКД 34-20.507-2003 г.
3. *Положення* про галузеву систему нагляду за безпекою гідротехнічних споруд електростанцій ГКД 34.03.106-2003 г.
4. П-780-83/Гидропроект. Пособие по проектированию сталежелезобетонных конструкций гидротехнических сооружений. М.: Гидропроект, 1984. — 91 с.
5. П-884-91/ Гидропроект. Проектирование зданий и сооружений ГЭС и ГАЭС. Расчеты и конструирование (Пособие к СНиП 2.06.01-86). — М.: Гидропроект, 1991. — 145 с.
6. *Пособие* по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (без предварительного напряжения) к СНиП 2.06.08-87: П

46-89/ВНИИГ.— Л.,1991.

7. *Лисичкин С.Е.* Совершенствование схем армирования массивных турбинных блоков со спиральными камерами различной конструкции//Гидротехническое строительство, 2003, — № 2.

8. *Расчеты* прочности сталежелезобетонной спиральной камеры. ОАО "Укргідропроект". 2004. — 20 с. 732—14—РТ5.

9. *Обоснование* конструкции сталежелезобетонной спиральной камеры Днестровской ГАЭС //Збірник наукових статей. 14а Міжнародна науково-практична конференція "Ресурси природних вод Карпатського регіону" Проблеми охорони та раціонального використання. — Львів. — 2015. — 214 с.

10. *Хлапук М. М., Вайнберг О. І., Рябенко О. А., Федоренко Г.М.* Надійність та безпека основних гідротехнічних споруд і обладнання Дністровської ГАЕС в період експериментального пуску першого агрегату заключення групи експертів-консультантів) //Гідроенергетика України. — 2009. — № 3. — С. 25—27.

11. *Вайнберг О. І., Хлапук М. М., Рябенко О. А., Шинкарук Л. А.* Дністровська ГАЕС: нові досягнення гідроенергетики України. //Гідроенергетика України. — 2009. — № 3. — С. 21—25.

© Рябенко О.А., Чернобыль О.Е., 2016

