

Чернобиль О. Є., к.т.н., заступник начальника науково-дослідного відділу (ПрАТ «Укргідропроєкт», м. Харків)

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НАПІРНОГО ПРОТОЧНОГО ТРАКТУ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС ПО РЕЗУЛЬТАТАХ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В статті представлено інформацію про особливості натурних спостережень за роботою залізобетонних конструкцій напірного проточного тракту ГАЕС, проаналізовано результати натурних спостережень за напружено-деформованим станом підвідних водоводів, спіральних камер і відвідних водоводів Дністровської ГАЕС.

Ключові слова: гідроакумулююча електростанція (ГАЕС), спіральна камера, контрольно-вимірювальна апаратура (КВА), напружено-деформований стан (НДС), напірний проточний тракт, гранично допустимі показники (ГДП).

Дністровська ГАЕС розташована в середній частині р. Дністер і є невід'ємною складовою частиною енергетичної стратегії держави. На сьогодні ГЕС і ГАЕС допомагають стабілізувати ситуацію на енергетичному ринку України, згідно зі стратегією розвитку енергетики до 2035 року передбачається збільшення їх потужностей в загальному обсязі генерації до 15%.

ПрАТ «Укргідропроєкт» виконує комплекс робіт з натурних контрольних спостережень за станом основних споруд Дністровської ГАЕС відповідно до проектних вимог згідно з діючими нормативними документами [1-6].

Оцінка основних діагностичних показників роботи, експлуатаційної надійності та безпеки ГАЕС виконується на основі аналізу результатів інструментальних та візуальних спостережень, в розрізі багаторічних натурних контрольних досліджень.

До складу напірного проточного тракту ГАЕС входять підвідний та відвідний водоводи і спіральна камера.

7 ниток напірних підвідних водоводів підходять від водоприймача до агрегатних шахт будівлі ГАЕС, кожен з яких включає вертикальну ділянку із сталезалізобетонним кріпленням заввишки близько 100 м, діаметром 7,5 м та горизонтальну ділянку діаметром 7,5 м, довжиною 450 м.

Сталезалізобетонна конструкція спіральної камери складається

з сталеві оболонки, розміщеної в залізобетонному блоці. Частину зусиль сприймає оболонка з м'якої сталі товщини (20-40 мм), виконана у вигляді спіралі, а частину зусиль частково сприймає армований залізобетонний блок.

Конструкцію масиву спіральної камери приведено на рис. 1.

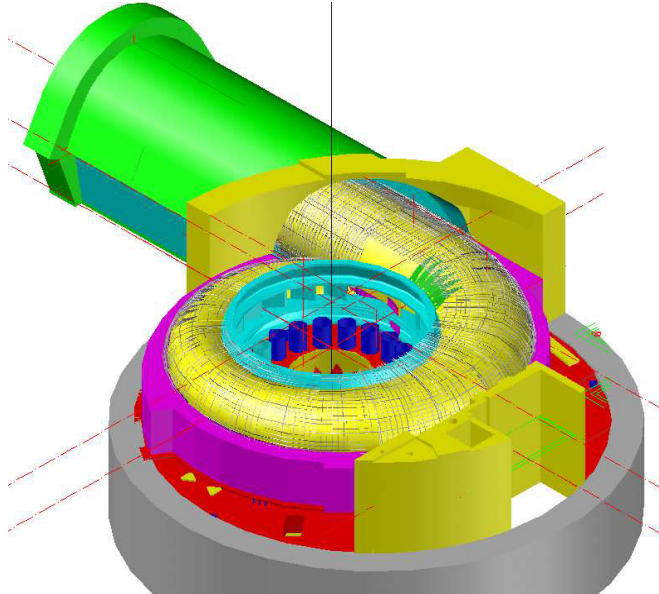


Рис. 1. Трьохвимірне зображення масиву спіральної камери

Відвідні водоводи довжиною 120-150 м діаметром 8,2 м проходять під кутом 14° до горизонту, кріплення із монолітного залізобетону товщиною 500 мм.

Напірний проточний тракт оборотних гідромашин при роботі в насосному і турбінному режимах перебуває під високим тиском і є відповідальною конструкцією, що вимагає постійної уваги і ретельного контролю свого стану, для уникнення аварійних ситуацій, наслідки яких можуть бути катастрофічними.

Дистанційна контрольна-вимірювальна апаратура для інструментальних спостережень за НДС напірних проточних трактів включає:

- арматурні динамометри (ПСАС-28) – для вимірювання діючих в арматурі зусиль;
- дистанційні термометри (ПТС-60) – для вимірювання температури бетону і скелі;
- телетензометри (ПЛДС-2000) – для вимірювання лінійних деформацій прилеглої скельної масиву;
- п'єзодинамометри (ПДС-30П, ПДС-3П) – для вимірювання тис-

ку води на кріплення водоводів.

План-схема розміщення вимірювальних перерізів дистанційної КВА на водоводах приведена на рис. 2.

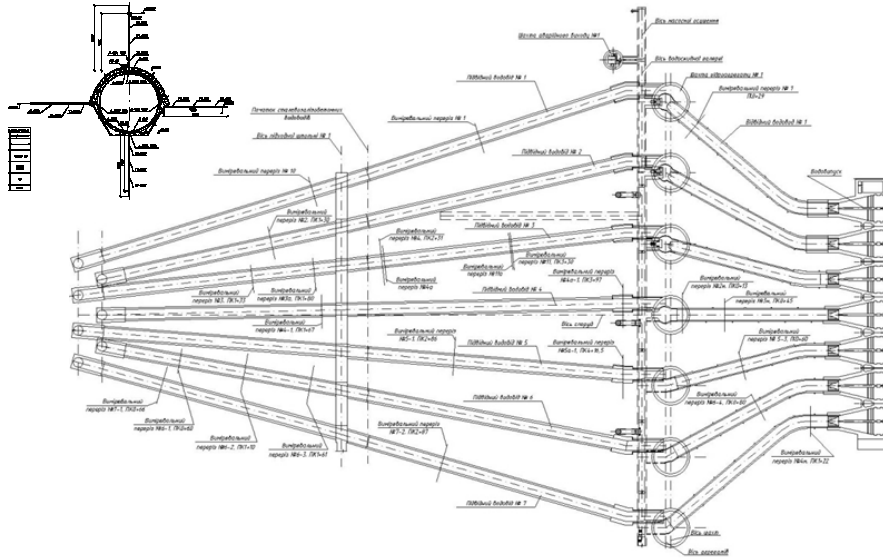


Рис. 2. План-схема розміщення вимірювальних перерізів дистанційної КВА на підвідних і відвідних водоводах
Контроль НДС підвідних водоводів

В підвідних водоводах №№ 1-4 та № 6 спостереження за НДС залізобетонного кріплення проводяться за допомогою КВА, встановленої в вимірювальних перерізах водоводів.

Напруження в арматурі. При роботі гідроагрегату № 1 у насосному та генераторному режимах характер зміни напружень залишається незмінним з початку експлуатації водоводу. Розтягуючі напруження в арматурі залізобетонного кріплення не перевищують 1100 кгс/см^2 (рис. 3).

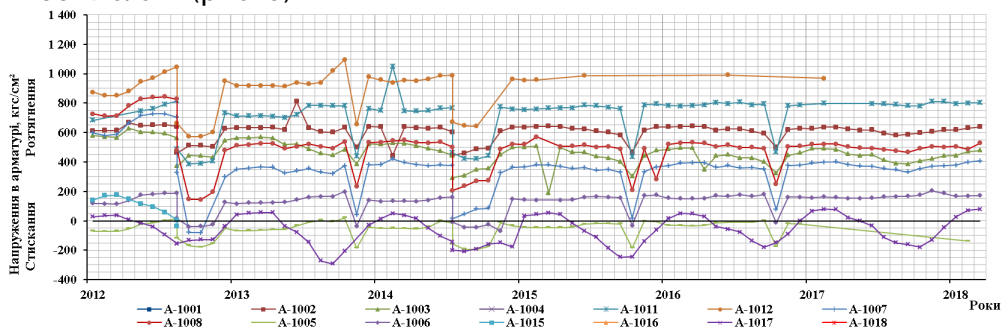


Рис. 3. Підвідний водовід № 1, вимірювальний переріз 10.
Графіки напруження в арматурі кріплення



За показаннями арматурних динамометрів:

- кріплення підвідного водоводу № 3 стискаючі напруження 600 кгс/см², розтягуючі – 1435 кгс/см²;
- підвідного водоводу № 4, стискаючі напруження 205 кгс/см²;
- підвідного водоводу № 6, напруження у перерізах 6-1, 6-2, 6-3 розтягувальні 715 кгс/см².

Тиск ґрунтових вод. За показаннями п'єзодинамометрів:

- у вимірювальному перерізі 1 водоводу № 1 при заповненому водоводі тиск ґрунтових вод на кріплення водоводу – 1,3-5,4 кгс/см²;
- у вимірювальних перерізах 3а та 3 при заповненому водоводі № 3, тиск ґрунтових вод на кріплення водоводу – 5,5-15,7 кгс/см²;
- у вимірювальних перерізах 4 та 11 при заповненому підвідному водоводі № 3, тиск ґрунтових вод на кріплення водоводу – 1,8-5,5 кгс/см².

У підвідних водоводах № 4, № 6 тиск ґрунтових вод на кріплення та за кріпленням водоводу становить 0,1-0,8 кгс/см², відповідно в для водоводу № 6 у перерізі 6-1 – 14,0 кгс/см², у перерізі 6-2 – 0,05 кгс/см².

Лінійні деформації скельного масиву. В цілому показання встановленої КВА у вимірювальних перерізах 1 та 10 підвідного водоводу № 1 відображають тенденцію стабілізації переміщень, деформації стиснення.

За даними закладних тензометрів, установлених у вимірювальному перерізі, відносні деформації стискання – $390-905 \times 10^{-6}$, а в установлених у вимірювальних перерізах 4а, 11а напруження розтягування складають від 470 до 1060 кгс/см².

У підвідному водоводі № 4 деформації розтягування склали 0,10-0,80 мм.

У підвідному водоводі № 6 напруження від 200 кгс/см² стиснення до 200 кгс/см² розтягнення. За показниками бетонних тензометрів, деформації розтягнення становлять 0,01-0,19 мм.

Контроль НДС спіральних камер. Інструментальний контроль за станом залізобетонних спіральних камер включає спостереження за НДС залізобетонних конструкцій та примикаючого до них скельного масиву гідроагрегатів № 1, № 2, № 3, № 4.

Перетворювачі сили арматурні встановлені в 4 перерізах в кількості 26 штук на відмітках від +41,280 м. до +48,100 м. Типове розміщення КВА в спіральній камері наведено на рис. 4.

Напруження в арматурі. За показаннями дистанційних термометрів температура бетону спіральної камери та у сполученні підвідно-

го водоводу № 1 з шахтою гідроагрегату № 1 коливається в межах від плюс 4,8 до мінус 12,9° С. Розтягуючі напруження в арматурі складають від 200 до 950 кгс/см².

Розтягуючі напруження в арматурі спіральної камери гідроагрегату № 2 – 200-1000 кгс/см².

Напруження в арматурі спіральної камери гідроагрегату № 3, в основному, розтягувальні та складають 200-620 кгс/см².

У 2018 році розпочато спостереження за КВА, встановленою у спіральній камері гідроагрегату № 4. Напруження в арматурі від 550 кгс/см² розтягнення до 500 кгс/см² стискування.

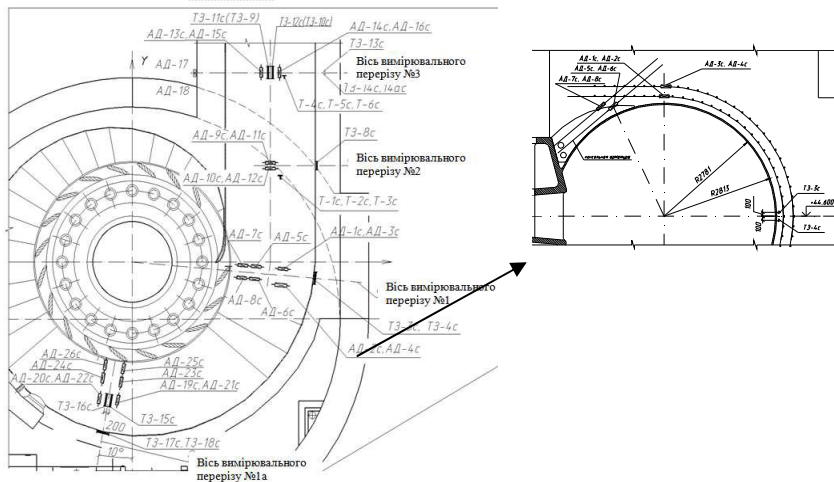


Рис. 4. Схема розташування дистанційної КВА

Лінійні деформації. За показаннями тензометрів, відносні деформації сталевого облицювання спіральної камери становлять від мінус $14,50 \times 10^{-6}$ (стиснення) до плюс $26,70 \times 10^{-6}$ (розтягування). По приладу ТЗ-13с, встановленому в вимірвальному перерізі 3 (сполучення підвідного водоводу № 1 з шахтою гідроагрегату № 1, відмітка +44,600 м) в меридіальному напрямку, відносні деформації розтягування склали плюс $25,50 \times 10^{-6}$.

За показаннями тензометрів, встановлених у спіральній камері гідроагрегату № 2, напруження від мінус 500 кгс/см² (стиснення) до плюс 1000 кгс/см² (розтягування).

У спіральній камері гідроагрегату № 3 напруження від мінус 600 кгс/см² (стиснення) до плюс 1160 кгс/см² (розтягування).

У 2018 році розпочато спостереження за тензометрами, які встановлені у спіральній камері гідроагрегату № 4. За показаннями тензометрів напруження склали від 48 до 1482 кгс/см² розтягнення.

Характер зміни кільцевих напружень в оболонці і арматурі спі-



ральної камери, відмінний від характеру зміни гідростатичною навантаження. Це вказує на істотну роль температурних впливів у формуванні НДС турбінного блоку. Максимальні виміряні кільцеві напруги від гідростатичного навантаження і температури в сталевій оболонці спіральної камери гідроагрегату № 1 і № 2 склали до 1160 кгс/см^2 .

За період нормальної експлуатації зростання кільцевих розтягуючих напружень не спостерігається, напруження в кільцевій арматурі не значні і не перевищують 1000 кгс/см^2 . Зміни носять сезонний характер, обумовлений температурними коливаннями. Максимальні розтягуючі напруги в арматурі облицювання спіральної камери і в сполученні підвідного водоводу № 1 з шахтою гідроагрегату № 1 становлять 950 кгс/см^2 ($\text{ГДП}=2000 \text{ кгс/см}^2$). Напруження в арматурі спіральних камер шахт гідроагрегатів № 1 і № 2 значно нижче рекомендованих гранично допустимих показників.

За показниками тензометрів відносні деформації масиву спіральної камери гідроагрегатів № 1 і № 2 невеликі і становлять від мінус 17×10^{-6} стиснення до плюс 27×10^{-6} розтягнення.

Контроль НДС відвідних водоводів

Напруження в арматурі. За показаннями арматурних динамометрів, встановлених в кільцевій арматурі кріплення відвідного водоводу № 1, при роботі гідроагрегату № 1 в насосному та генераторному режимах розтягуючі напруження в арматурі $130\text{--}480 \text{ кгс/см}^2$.

У 2018 році розпочато спостереження за станом відвідного водоводу № 4. За показаннями арматурних динамометрів, напруження в арматурі становили: у вимірювальному перерізі 2н розтягувальні $120\text{--}1000 \text{ кгс/см}^2$, у вимірювальному перерізі 3 напруження стиснення складають $100\text{--}500 \text{ кгс/см}^2$.

Тиск ґрунтових вод. За показаннями п'єзодинамометрів характер зміни тиску ґрунтових вод на кріплення та за кріпленням відвідного водоводу № 1 залишався незмінним протягом всього періоду спостережень. При роботі гідроагрегату № 1 тиск ґрунтових вод становив від $2,4$ до $4,1 \text{ кгс/см}^2$.

За показаннями п'єзодинамометрів тиск ґрунтових вод на кріплення та за кріпленням відвідного водоводу № 4 становить $0,01\text{--}0,04 \text{ кгс/см}^2$.

Лінійні деформації скельного масиву. За показаннями телетензометрів лінійні деформації застінного скельного масиву змінюються незначно, величини деформацій розтягування склали $0,03\text{--}0,24 \text{ мм}$.

За показаннями скельних тензометрів напруження застінного скельного масиву відвідного водоводу № 4 склали 20-370 кгс/см² стиснення та 30-1750 кгс/см² розтягнення.

Висновки

1. Результати інструментальних натурних спостережень за НДС конструкцій свідчать про те, що поступово відбуваються процеси, які ведуть до перерозподілу напружень між металом і бетоном композитної конструкції.

2. Максимальні розтягуючі кільцеві напруги в металевій оболонці, у внутрішній і зовнішній арматурі підвідних водоводів, спіральних камер і відвідних водоводів не перевищують рекомендованих ГДП [2; 3].

3. Проектний розрахунковий характер розподілу напружень в арматурі напірного проточного тракту відповідає натурним даним.

4. Стан конструктивів та елементів підвідних водоводів №№ 1-4 і № 6 спіральних камер і відвідних водоводів № 1, № 4 є задовільним, стабільно контрольованим та задовольняє критеріям безпеки.

5. Виконаний аналіз результатів візуальних спостережень та інструментальних вимірювань по КВА, з урахуванням ГДП, дозволяє зробити висновок – запроектовані побудовані і поставлені під робоче навантаження напірні проточні тракти ГАЕС відповідають критеріям безпеки, знаходяться в працездатному стані та дозволяють виконувати свої проектні функції у повному обсязі при роботі першої черги Дністровської ГАЕС.

1. Дністровська ГАЕС. Натурні контрольні спостереження. Основні споруди ГАЕС. Комплексний аналіз результатів натурних спостережень за 2017 р. : річний звіт, арх. № 13/ГТП.732-34-674. ТОВ «Гідротехпроект». Харків, 2017. 255 с. 2. Днестровская ГАЭС. Пусковой комплекс ГА № 3. Предельно допустимые показатели состояния и работы сооружений. Напорные водоводы № 1-№ 3. Отводящие водоводы № 1-№ 5. арх. №732-14-T231. ПАО «Укргідропроєкт». Харьков, 2017. 44 с. 3. Днестровская ГАЭС. Пусковой комплекс ГА № 3. Предельно допустимые показатели состояния и работы сооружений. Шахты гидроагрегатов № 1-№ 3, арх. № 732-14-T232. ПАО «Укргідропроєкт». Харьков, 2017. 94 с. 4. ДБН В.2.4:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Мінрегіонбуд України. Київ, 2010. 5. Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж. ГКД 34-20.507-2003. 6. Положення про галузеву систему нагляду за безпекою гідротехнічних споруд електростанцій. ГКД 34.03.106-2003.



REFERENCES:

1. Dnistrovska HAES. Naturni kontrolni sposterezhennia. Osnovni sporudy HAES. Kompleksnyi analiz rezultativ naturnykh sposterezhen za 2017 r. : richnyi zvit, arkh. № 13/HTP.732-34-674. TOV «Hidrotekhproekt». Kharkiv, 2017. 255 s.
2. Dnestrovskaia HAES. Puskovoi kompleks HA № 3. Predelno dopustimye pokazately sostoianii i raboty sooruzhenii. Napornye vodovody № 1-№ 3. Otvodiashchye vodovody № 1-№ 5. arkh. № 732-14-T231. PAO «Ukrhydroproekt». Kharkov, 2017. 44 s.
3. Dnestrovskaia HAES. Puskovoi kompleks HA № 3. Predelno dopustimye pokazately sostoianii i raboty sooruzhenii. Shakty hydroahreatov № 1-№ 3, arkh. № 732-14-T232. PAO «Ukrhydroproekt». Kharkov, 2017. 94 s.
4. DBN V.2.4:2010. Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia. Minrehionbud Ukrainy. Kyiv, 2010.
5. Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii elektrychnykh stantsii i merezh. HKD 34-20.507-2003.
6. Polozhennia pro haluzevu systemu nahliadu za bezpekoiu hidrotekhnichnykh sporud elektrostantsii. HKD 34.03.106-2003.

Рецензент: д.т.н., професор Рябенко О. А. (НУВГП)

Chernobyl O. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Deputy Head of Research Department (LLC "Ukrhydroproekt", Kharkiv)

ANALYSIS OF A STRESSED-DEFORMED STATE OF SURFACE PROTECTION TRACT DNISTROVSKA HAPP BY RESULTS OF FIELD RESEARCH

The article presents information on the features of field research of the work of reinforced concrete structures of the pressure line of the HAPP. The results of field observations of the stressed-deformed state of the underwater conduits, spiral chambers and tap water conduits of the PSP are analyzed. The recommendations are made to improve the system of field observations of constructions of the pressure flow path of the PSP.

Keywords: hydroaccumulating power plant (HAPP), spiral chamber, control equipment, stressed-deformed state, pressure flow path, maximum permissible values.

Чернобиль О. Е., к.т.н., заместитель начальника научно-исследовательского отдела (ЧАО «Укргідропроект», г. Харьков)

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАПОРНОГО ПРОТОЧНОГО ТРАКТА ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье представлена информация об особенностях натуральных наблюдений за работой железобетонных конструкций напорного проточного тракта ГАЭС. Проанализированы результаты натуральных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием подводных водоводов, спиральных камер и отводящих водоводов ГАЭС. Приводятся рекомендации, к совершенствованию системы натуральных наблюдений за конструкциями напорного проточного тракта ГАЭС.

***Ключевые слова:* гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС), спиральная камера, контрольно-измерительная аппаратура (КИА), напряженно-деформированное состояние (НДС), напорный проточный тракт, предельно допустимые показатели (ГДП).**
