

УДК 621.311.214

Сук С. П., головний інженер проекту Дністровської ГАЕС
(ПАТ “Укргідропроєкт”, м. Харків)

СУЧАСНІ ВИМОГИ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС

Завданням даної роботи є розгляд основних сучасних вимог з підвищення надійності та безпеки гідротехнічних споруд і обладнання при проектуванні гідро- та гідроакумуючих електростанцій в Україні (на прикладі Дністровської ГАЕС)

Ключові слова: надійність, гідротехнічні споруди, гідроелектростанція, Дністровська ГАЕС

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ ПРОЕКТУ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС



Дністровський каскад ГЕС і ГАЕС розташований на р. Дністер на південному заході України, приблизно в 400 км від Києва, недалеко від границі з Молдовою. До складу каскаду входять:

- Дністровська ГЕС-1 – діюча;
- Дністровська ГЕС-2 – діюча;
- Дністровська ГАЕС – у грудні 2010 р перший гідроагрегат прийнятий у промислову експлуатацію.

Дністровська ГЕС-1, встановленою потужністю 702 МВт, складається з 7 агрегатів потужністю по 117 МВт кожний.

Дністровська ГЕС-2 встановленою потужністю 40,8 МВт розташована в 10-ти кілометрах нижче за течією від ГАЕС, на границі між Україною й Молдовою. ГЕС-2 побудована для регулювання добових і тижневих витрат води у нижньому б'єфі Дністровської ГЕС-1. На ГЕС-2 встановлені 3 капсульні турбіни.

Дністровська ГАЕС має встановлену потужність 2268/2947 МВт (генераторний/насосний режими) і складається із семи оборотних гідроагрегатів по 324/421 МВт кожний. На ГАЕС передбачені насоси-турбіни радіально-осьового типу.

Дністровська ГАЕС запроєктована для роботи в циклічному режимі, споживаючи надлишкову нічну енергію атомних і теплових станцій і видаючи пікову потужність у денний час. Будівництво станції почалося в 1983 році.

Основні функції Дністровської ГАЕС – регулювання частоти, виконання аварійного резерву, регулювання графіка навантажень і перетоків в енергосистемі.

ГАЕС надійно вирішує проблему покриття змінних навантажень енергосистеми, оптимізує структуру потужностей, поліпшує режими роботи ТЕС, скоротивши їх щодобові зупинки, знижує перевитрати палива, виконує службу швидкодіючого аварійного й частотного резервів.

Комплекс споруд ГАЕС розташовується на великій території, що характеризується розмаїтістю ландшафту місцевості.

Верхня водойма й водоприймач запроєктовані на плато вище рівня Дністра на 150 м. Будівля ГАЕС і пристанційні споруди розташовані у підніжжя Дністровського схилу. Всі споруди Дністровського комплексу сполучені існуючою автодорогою від Дністровської ГЕС-1 до ГЕС-2.

До складу Дністровської ГАЕС входять наступні споруди:

– *верхня водойма*, виконана в напіввиімці-напівнасіпу, з екраном дна, огороджуваними дамбами загальною довжиною 7,3 км та задамбовим дренажем;

– *водоприймач*, що складається з двох секцій і має габарити 85,0x64,7 м, висота від підшови 35,25 м;

– *напірні підвідні водоводи*, що являють собою сім окремо розташованих тунелів, які сполучають водоприймач з агрегатними шахтами, кожна нитка яких включає: компенсатор, вертикальний водовід висотою біля 100 м, діаметром 7,5 м, із сталезалізобетонним обробленням, включаючи верхнє коліно, вертикальну шахту та нижнє

коліно, а також горизонтальну ділянку діаметром 7,5 м, завдовжки близько 400 м, з яких 200 м із залізобетонним обробленням товщиною 400 мм, і 200 м із сталезалізобетонним обробленням;

– *будівля ГАЕС* з 7-ма гідроагрегатами, які розміщуються в окремо розташованих шахтах діаметром 26 м і глибиною 50 м на відстані 54,0 м один від одного, та монтажним майданчиком, який розташований з боку гідроагрегату №1. Проектом передбачена установка оборотних гідроагрегатів з насосом-турбінами радіально-осьового типу ОРО 170-в-730, що виробляються ВАТ «Турбоатом», з робочими колесами $D_1=7300$ мм, з розрахунковим напором $H_p=135,2$ м, і синхронними трифазними оборотними генераторами-двигунами типу СВО 1255/255-40, що виробляються ДП завод «Електроважмаш», потужністю 324/421 МВт в генераторному і режимі двигуна відповідно, номінальною частотою обертання $150,0 \text{ хв}^{-1}$. Потужність насоса-турбіни складає у насосному режимі $N_{н.р.}=417$ МВт, у турбінному режимі $N_{т.р.}=330$ МВт;

– *відвідні водоводи* завдовжки 120-150 м і внутрішнім діаметром 8,2 м, які проходять під кутом 14^0 до горизонту і сполучаються з проточною частиною водовипуску за допомогою перехідних ділянок, що з'єднують круглий перетин водоводів з прямокутними перетинами проточної частини водовипуску; постійне облицювання виконується з монолітного залізобетону;

– *водовипуск*, який включає сім водопропускних отворів, об'єднаних з боку нижнього б'єфу однією спорудою залізобетонної конструкції. Кожен випускний отвір розділений проміжним биком на два прольоти, які перекриваються плоскими ремонтними затворами. Для запобігання попаданню в проточну частину сміття з відвідного каналу, в прольотах встановлюються сміттєзатримуючі решітки. Довжина водовипуску по фронту складає 182,0 м, ширина – 45 м, висота – 28,8 м;

– *відвідний канал* довжиною близько 300 м;

– *нижнє водосховище* загальною довжиною близько 20 км з комплексом захисних споруд, функціонує з моменту пуску ГЕС-2. Характерною особливістю його в умовах роботи ГАЕС є складний різко нестаціонарний рівневий режим, як протягом доби, так і тижневого циклу, обумовлений спільною роботою ГЕС-1, ГЕС-2 і ГАЕС. За своїм режимом роботи водосховище не має аналогів серед існуючих споруд подібного типу;

– а також гідросилове, електротехнічне і допоміжне устаткування, механічне та кранове обладнання, контрольно-вимірювальна апаратура тощо.

Проект Дністровської ГАЕС був розроблений Українським проектно-вишукувальним і науково-дослідним інститутом «Укргідропроєкт» в 1984 році.

Реалізація проекту будівництва Дністровської ГАЕС здійснюється вже більше 30 років і була ускладнена довгими перервами, під час яких обслуговування і нагляд за об'єктами не завжди відповідали вимогам чинних нормативних документів. Найбільш вразливими з точки зору загальної безпеки є верхня водойма, комплекс підземних виробіток та берегові схили Дністра у зоні основних споруд.

Таблиця

Основні показники першої черги ГАЕС

Найменування	Одиниці виміру	Усього (3 агрегати)
1 Потужність електрична встановлена:		
- у генераторному режимі	МВт	972
- у насосному режимі	МВт	1263
2 Річний виробіток електроенергії (тривалість роботи 4 години на добу)	млн. кВт-год.	1340
3 Річні витрати електроенергії на заряд ГАЕС (тривалість роботи 4,2 години на добу)	млн. кВт-год.	1763
4 Склад основного встаткування ГАЕС:		
- насос-турбіна типу ОРО 170-В-730	шт.	3
- гідрогенератор-двигун СВО-1250/260-4ОУХЛ4	шт.	3
5 Нормальний підпірний рівень:		
- верхнього басейну	м	220,50
- нижнього басейну	м	74,50
6 Обсяг:		
-верхнього басейну повний	млн.м ³	19,30
Корисний	млн.м ³	11,45
-нижнього басейну повний	млн.м ³	46,55
Корисний	млн.м ³	36,45
у тому числі: енергетичний	млн.м ³	11,45
Водогосподарчий	млн.м ³	25,00

Після аварії, яка сталася 17 серпня 2009 року на Саяно-Шушенській ГЕС в Російській Федерації, відповідно до наказу Міністерства палива та енергетики України від 04.11.2009 року за №584 «Про обстеження

гідротехнічних споруд та обладнання електростанцій” призначена міжвідомча комісія для проведення обстеження гідротехнічних споруд Дністровської ГАЕС та перевірки організації нагляду за ними в обсязі вимог, регламентованих положенням ГКД 34.03.106-2003 “Безпека гідротехнічних споруд і гідромеханічного обладнання гідроелектростанцій України. Положення про галузеву систему нагляду”.

Вищезгадані обставини викликали необхідність уточнення проекту першої черги Дністровської ГАЕС у складі трьох агрегатів в частині розробки додаткових заходів з підвищення надійності та безпеки гідротехнічних споруд, основного гідросилового обладнання та гідромеханічного обладнання.

ОСОБЛИВОСТІ, СПЕЦИФІКА ТА УНІКАЛЬНІСТЬ ОБ'ЄКТУ

Для збереження унікального ландшафту долини р. Дністер, гідрологічних та гідрогеологічних умов в районі будівництва об'єкта, а також з метою використання прогресивних сучасних технологій та матеріалів, при проектуванні Дністровської ГАЕС були прийняті наступні технічні рішення:

1) Для збереження природної гідрогеологічної ситуації в основі верхньої водойми, забезпечення стійкості Сокирянського й Дністровського схилів та надійності роботи всього комплексу споруд ГАЕС, перехоплення фільтраційного потоку з верхньої водойми й природних водоносних горизонтів передбачений дренаж схилів, до складу якого входять дренажні штольні верхнього й нижнього ярусів, а також передбачені дренажні та протизсувні заходи схилів. Для збору й організованого відводу води, що профільтрується через огорожуючі дамби верхньої водойми, передбачено влаштування трубчатого дренажу, розташованого на задамбовій території вздовж низового укосу правобережної і лівобережної дамб.

2) Складні гідрогеологічні умови гірського масиву Дністровського схилу створили передумови для розміщення гідроагрегатів в окремих шахтах. З метою обмеження впливу споруд на природний напружений стан скельного масиву прийнято відстань між осями шахт рівним 54 м і “безпечна” проходка буропідривним способом ярусами по 2 м з подальшим зведенням постійного кріплення 2-х метровими ярусами в напрямі зверху вниз. Розміри шахт - внутрішній діаметр 26,0 м і глибину 50 м визначилися умовами розміщення основного гідросилового і допоміжного устаткування. З метою компактного розміщення на майданчику і для збереження природного стану гірських порід при виробництві гірничопрохідницьких робіт,

вертикальні шахти розташовані в шаховому порядку, напірні сталезалізобетонні підвідні та відвідні водоводи виконані підземними, шляхом тунельної проходки.

3) На підставі аналізу сучасного стану берегової зони буферного водосховища і побудованих захисних споруд, інженерно-геологічних і гідравлічних досліджень, а також даних спостережень передбачено влаштування захисних споруд населених пунктів і берегозахисні споруди лівого і правого берегів, що розташовані в зоні впливу нижнього водосховища.

До складу цих споруд входять захисні споруди населених пунктів та сільськогосподарських угідь, захисні дамби, кріплення берегів, дренажі, споруди для відведення поверхневого та дренажного стоку з насосними станціями, планувальні насипи – засипки ярів, балок та старорічищ, труби-переїзди та пішохідні мости через водойми, протиерозійні та протишумні заходи.

Вищезазвані заходи дозволили покращити умови проживання людей у населених пунктах в період експлуатації Дністровської ГАЕС в порівнянні з соціальними умовами, в яких вони проживали до будівництва об'єкта та підвищити безпеку експлуатації станції.

4) На підставі аналізу наявності ґрунтових матеріалів та з метою підвищення надійності і безпеки верхньої водойми, схилів і всього комплексу споруд ГАЕС, на частині верхньої водойми передбачено влаштування комбінованого екрану дна та верхового укусу огороджуючих дамб. Комбінований екран полягає у комплексній роботі ґрунтового екрану та екрану, влаштованого з полімерних матеріалів – полімерної мембрани, що укладається між двома захисними шарами геотекстилю.

5) Застосування енергозберігаючих технологій.

При виконанні проекту Дністровської ГАЕС велика увага була приділена питанням енергозбереження, зокрема, енергозберігаючим режимам роботи устаткування.

Передбачено:

- використання системи диспетчерського управління і АСУ для оптимізації роботи Дністровської ГАЕС;

- перехід на мікропроцесорну систему управління;

- використання тиристорної системи збудження генератор-двигунів агрегатів, що забезпечує значне скорочення споживання електроенергії для потреб системи;

- застосування частотного пуску агрегатів в насосний режим (основний);

- застосування резервного режиму пуску “спина до спини” (від ін-

шого агрегату), що зменшує час пуску;

- заміна та перехід на сучасну комутаційну апаратуру (елегазові вимикачі), що дозволить відмовитися від виконання спеціальної компресорної установки;

- автоматизація включення насосів відкачування води з проточної частини насос-турбін для видалення фільтраційних протічок через ущільнення затворів залежно від рівня води в зливній потерні. Аналогічні рішення застосовуються в системах відкачування дренажу шахти агрегату, шахти виходу №1 і водовипуску, відкачування води з камер випуску водо-повітряної суміші;

- автоматизація подачі повітря в систему віджимання води з камер робочих коліс залежно від рівня води в камері робочого колеса;

- автоматизація підтримки заданого тиску стислого повітря в повітрязбірниках і магістралях за рахунок повної автоматизації компресорних установок;

- застосування в системі електроосвітлення сучасних люмінесцентних світильників з фотодатчиками.

б) Одним з напрямків щодо забезпечення надійності, ефективності, оперативності контролю за станом гідротехнічних споруд (ГТС) Дністровської ГАЕС є створення автоматизованої системи контролю (АСК) для отримання достовірної інформації про стан ГТС за допомогою сучасних технічних засобів.

АСК гідротехнічних споруд включає технічні, методичні, інформаційні та інші компоненти, які дозволяють їй здійснювати функції контролю ГТС, поточних оцінок, їх стану і видачі відповідних висновків і пропозицій.

7) Захист навколишнього середовища.

Відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього середовища» була розроблена «Програма організації комплексного екологічного моніторингу навколишнього природного середовища в зоні дії Дністровської ГАЕС».

З 2006 року, за розробленою програмою, ведеться моніторинг навколишнього середовища, що включає: гідродинамічний, геодезичний, інженерно-геологічний, гідрогеологічний, геофізичний, сейсмічний моніторинг, стаціонарні натурні спостереження за зміною якісних і кількісних характеристик за всіма параметрами, які можуть бути змінені при будівництві і експлуатації ГАЕС.

ДОДАТКОВІ ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД, ОСНОВНОГО ГІДРОСИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ГІДРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Будівництво верхньої водойми

Верхня водойма ГАЕС передбачена у напіввиімці-напівнасипу з будівництвом у дві черги. При будівництві екрану дна та огорожувальних дамб першої черги водойми територія другої черги використовувалась як тимчасовий кар'єр будівельних матеріалів. За довгі роки будівництва на території другої черги був утворений доволі складний рельєф з підвищеною фільтраційною здатністю ґрунтів основи дна водойми, яка огорожена недобудованою дамбою та тимчасовою перемичкою, що не дає змоги організувати стік води і, як наслідок, призводить до підтоплення території та загального зволоження всього геологічного масиву і погіршення гідрогеологічного стану Дністровського схилу.

Зважаючи на сучасний стан верхньої водойми, виникла необхідність в коригуванні проектних рішень в частині конструкції екрану дна і укосів дамб, кріплення укосів дамб, а також виконання додаткових заходів в котловані другої черги водойми.



В якості додаткових заходів в уточненому проекті прийнято рішення про влаштування протифільтраційного екрану по всій території во-

дойми та укосам огорожувальних дамб. Окрім питання безпеки, реалізація цього заходу, в кінцевому результаті, дала значну економію коштів за рахунок того, що відпаде необхідність у будівництві та подальшому розбиранні тимчасової дамби на ПК16 з тривалою зупинкою ГАЕС на час її розбирання.

Завершення будівництва підземних водоводів у повному обсязі

Наприкінці 80-х років, в період доволі інтенсивного будівництва Дністровської ГАЕС, були виконані значні об'єми робіт по проходці підземних водоводів та підхідних штолень ГАЕС. Підземні виробітки були тимчасово закріплені торкрет-бетоном, розрахованим на будівельний період 3-5 років. На цей час, під впливом ерозійних процесів та розущільнення скельних масивів, мало місце значне пошкодження тимчасового кріплення склепіння та значні вивали скельної породи по всьому контуру підземних водоводів. Надалі ситуація може ускладнюватись за рахунок поступового підняття води у нижній водоймі Дністровської ГАЕС. Подальше знаходження підземних виробіток без постійного закріплення могло б призвести до ще більшого погіршення ситуації. Вже на даний момент є ділянки підземних виробіток, в яких стан склепіння не дозволяв вести будівельні роботи без виконання комплексу складних підготовчих операцій, які за своєю вартістю перевищують вартість основних робіт.

Проведені протягом останніх років геофізичні дослідження показують тенденцію подальшого розущільнення гірського масиву навколо водоводів на тих ділянках, де не виконане постійне кріплення. У зв'язку з цим в уточненому проекті прийняте рішення про повне завершення робіт по підземному комплексу напірних та відвідних водоводів.

Збільшення об'єму водозливної галереї

Для максимального часу спорожнення проточного тракту та підвищення безпеки при аварійних ситуаціях на кришці турбіни в уточненому проекті передбачено збільшення об'єму водозливної галереї.

Встановлення на водоприймачі та водовипуску швидкодіючих затворів з гідроприводами, замість існуючих затворів, які піднімаються та опускаються козовими кранами

Для запобігання аварійних ситуацій, пов'язаних із затопленням ГАЕС через кришку насос-турбіни, а також для запобігання спорожнення верхньої водойми, на водоприймачі в уточненому проекті передбачена установка індивідуальних швидкодіючих затворів. Як шви-

дкодуючі затвори для перекриття агрегатів №№ 1, 2 використовуються два штатні аварійно-ремонтні затвори 7,5-7,5-29,75 м, які встановлюються в перший ряд пазів, якщо дивитися в напрямку потоку води в турбінному режимі. Другий ряд пазів використовується для установки ремонтного затвору 7,5-7,5-29,75 м або для подачі вантажів, необхідних для ревізії підвідних водоводів. Маневрування ремонтним затвором проводиться козловим краном вантажопідйомністю 2x180+5 т. Управління швидкодіючими затворами здійснюється гідроприводом, що складається з двох гідро циліндрів, однієї оливо насосної станції, маслопроводів, щитів управління та ін. Час перекриття підвідного водоводу затвором за допомогою гідроприводу складе 4-6 хвилин. Аварійне закриття швидкодіючих затворів здійснюється автоматично при не спрацюванні перших трьох захистів насос-турбін: направляючого апарату, золотника аварійного закриття, кільцевого затвору, а також і від датчика затоплення шахти насос-турбіни.

Маневрування швидкодіючими аварійно-ремонтними затворами водовипуску здійснюється за допомогою індивідуальних механізмів, функцію яких виконує гідропривід. Час перекриття двох водопропускних отворів відвідних водоводів аварійно-ремонтними затворами складе 4-6 хвилин. Затвори водовипуску повинні опускатися в потік тільки після закриття затворів водоприймача і спорожнення напірного водоводу до позначки рівня води в нижньому б'єфі.

Заходи з підвищення безпеки схилів

Для підвищення безпеки схилів в період експлуатації першої черги Дністровської ГАЕС у складі гідроагрегатів №№ 2, 3 в уточненому проекті передбачені додаткові заходи з інженерної підготовки в зоні впливу всієї верхньої водойми:

- ✓ закріплення на Дністровському і Сокирянському схилах верхів'їв ярів, що розвиваються;
- ✓ планування території і відведення поверхневого стоку з верхнього майданчика ГАЕС і схилів;
- ✓ додаткові заходи щодо забезпечення стійкості схилу на ділянці розташування основних споруд ГАЕС, а також на Дністровському схилі в районах можливої активізації зсувних тіл;
- ✓ благоустрій нижнього майданчика.

Підвищення надійності та безпеки основного гідросилового та допоміжного обладнання

Підвищення надійності та безпеки вказаного обладнання забезпечується за рахунок встановлення додаткового контрольно-

вимірювального обладнання проточної частини гідроагрегатів, замінною частин обладнання допоміжних систем на сучасне.

Підвищення надійності та безпеки гідромеханічного устаткування

Для підвищення надійності роботи станції у проекті передбачається установка індивідуальних швидкодіючих затворів з індивідуальним механізмом – гідроприводом на спорудах водоприймача і водовипуску.

Установка таких затворів на водоприймачі доцільна для швидкої локалізації аварії, пов'язаної із затопленням будівлі ГАЕС, і дозволяє значно скоротити витрати води з верхньої водойми і, відповідно, зменшити наслідки аварії.

Установка швидкодіючих затворів на водовипуску дозволяє швидко локалізувати аварію при затопленнях, пов'язаних з розривом напірних трубопроводів на кришці насос-турбіни, а також при відкритому люку відсмоктуючої труби, що значно полегшить проведення відновлювальних робіт.



Для зведення до мінімуму можливого шкідливого впливу негативних чинників у проекті передбачена ефективна система правил і способів забезпечення заданого (прийнятого) рівня надійності і безпеки споруд ГАЕС. Одним із напрямків забезпечення надійності, ефектив-

ності, оперативності контролю за станом гідротехнічних споруд Дністровської ГАЕС є передбачене в уточненому проекті створення автоматизованої системи контролю (АСК) для отримання достовірної інформації про стан гідротехнічних споруд за допомогою сучасних технічних заходів.

В даний час тривають будівельно-монтажні роботи по реалізації проектних рішень пускового комплексу гідроагрегату № 2 Дністровської ГАЕС, пуск якого заплановано в 4-му кварталі 2013 року.

Однак, вищезгаданий перелік - це ще не всі заходи, що підвищують надійність та безпеку гідротехнічних споруд і обладнання Дністровської ГАЕС. З введенням в дію нових законодавчих актів, нормативних документів на станції проводиться реалізація нових рішень, зокрема з точки зору протипожежної безпеки, охоронних заходів та ін.

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

Suk S. P., Chief Engineer of the Project Dnistrovsky Hydroelectric Power Station (PJSC "Ukrhidroproekt", Kharkiv)

MODERN REQUIREMENTS TO IMPROVE THE SAFETY OF PROJECTING DNIESTER HPSS

The aim of this study is to examine the major current requirements to improve the reliability and safety of hydraulic structures and equipment in the design of hydro and pumped storage power stations in Ukraine (for example, Dniester HPPS)

Keywords: reliability, waterworks, hydropower, Dniester HPSP

Сук С. П., главный инженер проекта Днестровской ГАЭС (ПАО "Укрэнергопроект", Харьков)

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС

Задачей данной работы является рассмотрение основных совре-

менных требований по повышению надежности и безопасности гидротехнических сооружений и оборудования при проектировании гидро- и гидроаккумулирующих электростанций в Украине (на примере Днестровской ГАЭС).

Ключевые слова: надежность, гидротехнические сооружения, гидроэлектростанция, Днестровская ГАЭС.
