

ГУРИН В.А., докт. техн. наук, професор, ректор,
РЯБЕНКО О.А., докт. техн. наук, професор, зав. кафедри,
Національний університет водного господарства
та природокористування

ВПЛИВ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ СПОРУД І ОБЛАДНАННЯ ГЕС ТА ГАЕС

Надійність і безпека гідроенергетичних об'єктів тісно пов'язані з різними аспектами їх роботи, в тому числі і гідравлічними режимами. Це питання зачіпає інтереси мільйонів чоловік і періодично, в залежності від різноманітних обставин, підіймається в пресі, на телебаченні і радіо.

9 жовтня 2009 р. був виданий Указ Президента України "Про додаткові заходи щодо підвищення рівня безпеки енергетичних об'єктів та розвитку гідроенергетики України". Серед ряду заходів цим Указом передбачалося проведення у місячний строк позачергового обстеження гідротехнічних споруд і устаткування, систем управління, регулювань та захисту всіх гідроелектростанцій Дніпровського та Дністровського каскадів, а також нагляду за ними.

Для виконання цього Указу була створена міжвідомча комісія, до складу якої були включені представники Департаменту з питань електроенергетики та Департаменту фізичного захисту, пожежної безпеки та безпеки життєдіяльності бувшого Мінпаливенерго, ПАТ "Укргідроенерго", НАК "Енергетична компанія України", Державної інспекції з експлуатації електричних станцій і мереж, Міністерства з надзвичайних ситуацій, ПАТ "Укргідропроєкт", ряду інститутів НАН України, науково-дослідних і проектних інститутів, вузів, будівельних організацій, ряду заводів, директори ГЕС і ГАЕС, начальники шлюзів та ін. [1]. Представники згаданих організацій є провідними фахівцями і мають величезний досвід роботи в питаннях проектування, будівництва, експлуатації, досліджень і обстежень стану гідротехнічних споруд і гідроелектростанцій та визначення ступеня їх надійності.

Завдання ускладнювалося значною довжиною напірного фронту Дніпровських гідроелектростанцій, яка становить для Київського гідровузла 50 км, Дніпродзержинського — 36 км, Канівського — 17 км, Кременчуцького — 12 км, Каховського — 10 км. [2]. Враховуючи великі обсяги робіт та стислі строки їх виконання, у складі міжвідомчої комісії було створено три робочі групи — центральна, південна і західна. Основне завдання центральної групи полягало в оцінці технічного стану гідротехнічних споруд і обладнання Київських ГЕС і ГАЕС, Канівської та Кременчуцької ГЕС,

південної групи — відповідно Дніпродзержинської, Дніпровської та Каховської ГЕС, а західної — відповідно Дніпровської ГЕС, Дністровської ГЕС-2 та Дністровської ГАЕС.

Робочими групами міжвідомчої комісії був проведений великий комплекс робіт з обстеження технічного стану гідротехнічних споруд і обладнання вищевказаних ГЕС та ГАЕС. При цьому були виконані обстеження таких споруд, систем, обладнання і напрямків роботи:

- гідротехнічних споруд — гребель, дамб, будівель ГЕС, водоскидів, судноплавних шлюзів, водосховищ та їх елементів — протифільтраційних і дренажних пристроїв, кріплень укосів, стояків, монтажних майданчиків, елементів спряження різних споруд, водоводів, каналів, елементів проточного тракту гідроагрегатів, водобоїв, рисберм тощо;

- гідроенергетичного обладнання — турбін, напрямних апаратів, систем віброконтролю;

- електроенергетичного обладнання — генераторів, трансформаторів, трансформаторних підстанцій, розподільних пристроїв тощо;

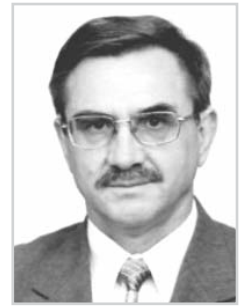
- гідромеханічного обладнання — затворів, сміттєзатримуючих решіток, підйомних механізмів, приводів до затворів, пристроїв для очистки решіток, стану антикорозійного захисту цього обладнання;

- допоміжного обладнання ГЕС — масляного господарства, систем технічного водопостачання гідроагрегатів, подачі стисненого повітря, відкачування води з проточного тракту;

- засобів контрольно-вимірювальної апаратури — опускних і закладних п'єзометрів, датчиків, п'єзодинамометрів, щілинометрів, арматурних динамометрів, дистанційних термометрів, геофізичних свердловин, вимірювальних водозливів, пісколовок тощо;

- організації нагляду за спорудами і обладнанням;

- своєчасності виконання і якості ремонтних робіт;



ГУРИН В.А.



РЯБЕНКО О.А.

- цивільного захисту, техногенної та протипожежної безпеки.

В результаті проведених обстежень міжвідомча комісія зробила висновок, що гідротехнічні споруди та обладнання усіх обстежених ГЕС і ГАЕС Дніпровського та Дністровського каскадів знаходяться у працездатному стані, відповідають вимогам проектів і можуть виконувати своє функціональне призначення в проектних режимах. В доповнення до цього міжвідомча комісія розробила для кожного об'єкта ряд конкретних рекомендацій відповідним структурам, реалізація яких сприяє підвищенню рівня надійності і безпеки обстежених гідроенергетичних об'єктів.

До сказаного необхідно додати, що в даний час відбувається процес реконструкції, заміни і модернізації обладнання усіх діючих ГЕС і ГАЕС ПАТ "Укргідроенерго". Реалізація намічених заходів дозволить не тільки підвищити потужність станцій, а й суттєво покращити екологічну ситуацію в басейнах річок Дніпра та Дністра, а також значно підвищити надійність і якість роботи як згаданих станцій, так і всієї енергосистеми України. Тут буде доречним нагадати, що розроблений ПАТ "Укргідроенерго" проект реконструкції ГЕС України визнаний у 2007 р. одним із ста кращих проектів світової інфраструктури.

Стан споруд і обладнання ГЕС та ГАЕС у значній мірі визначається гідравлічними режимами їх експлуатації. Серед основних аспектів цієї проблеми необхідно виділити такі:

- стабілізація розмивів відвідних русел та каналів у нижньому б'єфі ГЕС і ГАЕС;

- робота гідроенергетичного обладнання ГЕС і ГАЕС в умовах неусталених перехідних гідравлічних режимів, пов'язаних із зміною експлуатаційних параметрів станцій (потужності, витрати, напору тощо);

- обриси вільної поверхні потоку у верхньому водоймищі та відвідному руслі ГАЕС при роботі агрегатів у насосному і турбінному режимах, а також вплив цих обрисів на висотні і планові розміри огорожувальних споруд;

- гідравлічні, динамічні і статичні умови роботи водоводів ГАЕС у насосному і турбінному режимах;

- руйнування кріплення верхнього укосу земляних гребель і дамб внаслідок дії вітрових хвиль та льоду у водосховищах;

- фільтраційні умови роботи водопідпірних споруд.

В межах даної доповіді більш детально розглянемо питання про гідравлічні режими роботи

ГАЕС та вплив цих режимів на параметри і стан елементів напірного водоймища. Гідроакумуючі електростанції мають два характерні режими роботи: насосний (наповнення верхнього водоймища в періоди провалу графіка навантаження енергосистеми) та турбінний (спрацювання цього водоймища і виробництво електроенергії в періоди піків навантаження). Специфічною особливістю роботи водоймищ ГАЕС, у порівнянні з водосховищами ГЕС, є більш напружений режим їх використання внаслідок регулярної періодичної зміни основних гідрофізичних полів (рівнів поверхні та швидкостей течії) при зміні режимів роботи. Пуск, зупинка та регулювання потужності агрегатів ГАЕС супроводжується виникненням в аванкамері, верхньому водоймищі та відвідному каналі неусталених гідравлічних режимів потоку. Ці режими супроводжуються виникненням хвиль переміщення. Параметри хвиль переміщення потрібно враховувати при прийнятті остаточних відміток гребеня напірного фронту водоприймача та огорожувальних конструкцій верхнього водоймища і аванкамери, вибору типу та розмірів кріплення укосів, виконанні розрахунків міцності та стійкості споруд.

Методики чисельних розрахунків обрисів вільної поверхні потоку основані на вирішенні одновимірних та двовимірних рівнянь Сен-Венана, тривимірних рівнянь Рейнольдса в гідростатичному наближенні. При вирішенні задачі використовуються також оригінальні числові алгоритми, адаптаційні три- та чотирикутні сітки, а також гібридне моделювання. Розглядувана задача є дуже складною, оскільки потрібно враховувати параметри працюючих агрегатів, глибини і конфігурацію конкретного водоймища, велику кількість інших діючих факторів і поправочних коефіцієнтів. Через це на етапах проектування, будівництва та експлуатації об'єкта дуже важливим є розуміння динаміки процесів, що відбуваються в водоймищі, особливо їх критичних режимів з можливими катастрофічними наслідками: переповнення водоймища, перелив води через огорожувальні дамби внаслідок хвильових процесів, розмив дна відвідного русла і т.п.

При цьому основною задачею розрахунків є визначення відміток вільної поверхні та поля швидкостей. Визначення вказаних параметрів виконується в процесі розрахунків, що відображають різні режими роботи ГАЕС з врахуванням варіювання основних параметрів енергетичних установок, а також враховують зміни геометрії водоймища, пов'язані з вибором в ході проектування оптимальних конфігурацій огорожувальних конструкцій та рельєфу дна.

Вибір математичної моделі для опису конкретного фізичного явища потребує попереднього аналізу та врахування характерних параметрів цього явища та виявлення пріоритетного їх значення. Відношення характеристик розмірів водосховища дає можливість вивчати гідрофізичні процеси в ньому у термінах теорії мілкої води [3], рівняння якої мають вигляд:

$$\begin{cases} u_t + uu_x + vv_y + g\eta_x = f_1, \\ v_t + uv_x + vv_y + g\eta_y = f_2, \\ \eta_t + (uh)_x + (vh)_{yx} = f_3, \end{cases} \quad (1)$$

де u, v – компоненти швидкості, $h = H + \eta$ – повна глибина, H – глибина незбуреного шару рідини, η – зміщення вільної поверхні, g – прискорення вільного падіння, f_i – значення, що описують дію зовнішніх факторів (сили Коріоліса, донного та вітрового тертя).

Геометрія верхнього водоймища ГАЕС (Рис. 1) характеризується значним перевищенням його горизонтальних розмірів над вертикальними, витягнутістю вздовж одного із горизонтальних напрямків, малими змінами поля глибин. При виконанні розрахунків водоймище розбивається на окремі ділянки. Іншим важливим параметром розрахунків є час процесу, який задається тривалістю наповнення та спрацювання водоймища. При цьому важливо також враховувати геометрію огорожувальної дамби та динаміку зміни вільної поверхні.

Витягнутість водосховища дозволяє на попередньому етапі проводити розрахунки за одновимірною моделлю Сен-Венана, яка має більш високий ступінь ієрархії наближених гідравлічних моделей і дозволяє в одновимірній постановці враховувати ефекти зміни ширини русла.

Умови, що накладаються на модель:

- поперечні складові швидкості малі в порівнянні з повздовжніми, відцентровий ефект, що створюється кривизною водосховища, не враховується;

- малий похил дна;

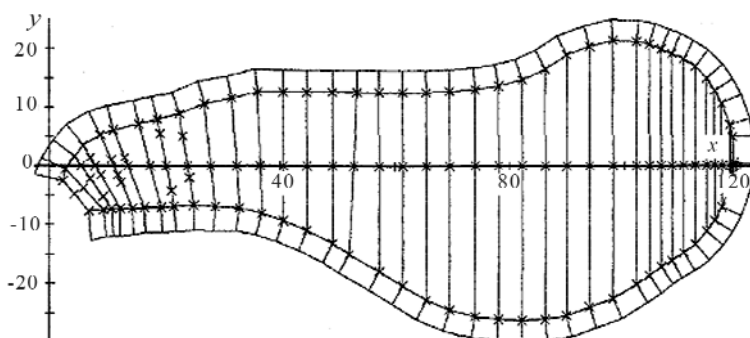


Рис. 1. Планова геометрія верхнього водоймища ГАЕС

- сили опору, що вводяться в рівняння є в тому ж виді, як і для рівномірного руху; вважається, що сумарний вплив сил тертя і турбулентності можна врахувати у вигляді деякої сили опору.

При таких умовах рівняння Сен-Венана набуде вигляду [4]:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} - vq \cos \phi = 0, \\ \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \end{cases} \quad (2)$$

де A – площа поперечного перерізу, C – коефіцієнт Шезі.

В більш повній постановці, задачу можна розглядати в тривимірному вигляді потенціального руху ідеальної рідини з вільною поверхнею, яка в довільній системі координат зводиться до визначення потенціалу швидкості і функції, що описує вільну поверхню.

Одним із основних питань чисельних розрахунків вільної поверхні потоку у верхньому водоймищі ГАЕС є забезпечення швидкодії алгоритмів разом з їхньою високою точністю. Це дозволяє адекватно розраховувати довготривалі хвильові процеси протягом короткого часу. У зв'язку з цим потрібно використовувати для апроксимації рівнянь та їх модифікацій неявні скінченно-різницеві схеми на рухомих адаптивних сітках. Найпопулярніші програми для виконання таких розрахунків є HES-RAS, FLOW-3D, "Волна", MIKE та інші.

HES-RAS – це вбудована система програмного забезпечення, розроблена для діалогового використання в багатоплановій сфері [5]. Система складається з трьох одновимірних гідравлічних компонентів аналізу для моделювання усталених водних поверхонь потоку, неусталеного потоку рідини, руху твердих частинок в потоці та розрахунків розмиву. Всі ці компоненти використовують загальне представлення даних у всіх гідравлічних та геометричних програмах моделювання. В основі розрахунку є вирішення рівняння Сен-Венана, де енергетичні втрати оцінюються тертям (рівняння Манінга) та стисненням потоку. Можливі розрахунки ситуацій, де водний потік і його поверхня є швидкозмінною.

FLOW-3D – це CFD пакет загального призначення, який здатний моделювати велику різноманітність задач течії рідини і газу [6]. Спеціалізацією пакету є моделювання течій з вільною поверхнею, використовуючи метод кінцевих об'ємів.

На завершення, слід підкреслити важ-

ливість натурних досліджень, адже вони є основним орієнтиром для підтвердження використовуваних математичних моделей та їх перевірки. В даний час це питання є досить актуальним, оскільки існуючі методики розрахунків в більшості випадків справджуються лише в певних проміжках і не можуть використовуватися для повного опису розглядуваних явищ та процесів.

Висновки

1. Гідротехнічні споруди та обладнання всіх діючих ГЕС і ГАЕС Дніпровського та Дністровського каскадів знаходяться у працездатному стані, відповідають існуючим вимогам і можуть виконувати своє функціональне призначення в проектних режимах.

2. В умовах інтенсивного будівництва ГАЕС питання розрахунків обрисів вільної поверхні потоку у верхньому водоймищі і відвідному руслі цих станцій при їхній роботі в насосному і турбінному режимах є досить актуальним.

3. Для підвищення надійності таких розрахунків та проектування відповідних споруд особ-

ливого значення набуває дослідження основних характеристик потоку в насосному і турбінному режимах роботи ГАЕС на діючих об'єктах в натурних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Рябенко О.А., Лутаєв В.В.* Результати обстеження гідротехнічних споруд та обладнання Київських ГЕС і ГАЕС та Канівської ГЕС. // Гідроенергетика України. — 2010. — № 1. — С. 37-41.
2. *Осадчук В.О., Герасимович М.М., Вайнберг О.І.* Безпека гідротехнічних споруд Дніпровського каскаду ГЕС. // Гідроенергетика України. — 2005. — № 1. — С. 41-45.
3. *Чугаєв Р.Р.* Гидравлика: учебник для вузов. — 4-е изд. доп. и перераб. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. — 672 с.
4. *Эббот М.Б.* Численная гидравлика. Гидравлика открытого потока. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — С. 272.
5. *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual Version 4.0* // US Army Corps of Engineering, — 2008. — 746 p.
6. *FLOW 3-D User manual v. 9.3*, Flow Science, — 2008. — 817 p.

© Гурин В.А., Рябенко О.А., 2011

