



УДК 621.311.21

ШУЛЬГА В.А., ТОВ "Гідротехпроект"

ОСІДАННЯ ГРУНТОВИХ ГРЕБЕЛЬ ГІДРОВУЗЛІВ УКРАЇНИ

В статті описані: загальні особливості осідань ґрунтових споруд та їх контроль; дані про деякі характерні греблі гідровузлів України із ґрунтових матеріалів і їх параметри; результати спостережень за осіданнями характерних гребель. Показано, що інструментальні спостереження розпочинаються, як правило, запізно і не враховують значну частину загального осідання таких споруд. Визначені повні осідання гребель непрямим методом. Запропоновані міри для покращення контролю осідань.

К л ю ч о в і с л о в а: гребля, основа греблі, тіло греблі, гребінь греблі, осідання (осадка), контроль осідання.

Про предмет статті. Осідання (вертикальне переміщення) — це один із основних показників стану всякої будівлі чи споруди. Контроль осідань відповідальних споруд регламентують основні будівельні норми України [1, 2, 3], а також норми енергетичної галузі [4, 5]. Загалом на крупних гідровузлах передбачається проектом та фактично виконується контроль осідань практично всіх напірних гідротехнічних споруд — і бетонних і таких, що складені із ґрунтових матеріалів. Це відноситься і до споруд гідровузлів Дніпровського каскаду та до споруд на інших ріках України. За часи будівництва та експлуатації гідровузлів накопичені масиви результатів спостережень, котрі, як правило, проаналізовані і узагальнені. Проте є суттєва відмінність між спостереженнями осідань і їх результатами для різних типів споруд: бетонних і ґрунтових. Така відмінність обумовлена різними конструктивними особливостями та умовами зведення і контролю.

На бетонних спорудах простіша природа осідання: для відносно невеликої споруди її осадка це і є осадка основи. Також відносно легко забезпечити вчасний початок і подальшу безперервність спостережень за осіданнями. Тому вдається без особливих проблем визначити повні осадки бетонних споруд.

Сам процес осідання ґрунтової споруди має принципові відмінності від осідань бетонної:

1) Осідання, внаслідок ущільнення під дією навантажень та від інших причин, одержує не тільки основа споруди, а й її тіло. Тому осадка ґрунтової споруди — це завжди сумарна осадка тіла споруди і її основи.

2) Ґрунтова споруда має значні допуски по структурі, а фактичні відхилення бувають значно більшими, тому і її осадка, як правило, має значну нерівномірність.

Також зведення ґрунтових споруд відрізняється технологічними особливостями, які значно утруднюють процес контролю осадок і одержання повноцінних даних. Для контролю осідань основи споруди в процесі її будівництва існують відносно надійні методи, які дозволяють одержати результати, хоча із труднощами. Осідання (ущільнення) тіла греблі в процесі її зведення прослідкувати дуже проблематично, хоча існують певні методи, наприклад — із допомогою багаторусних глибинних марок. Основна трудність полягає у тому, що при інтенсивному веденні робіт по зведенню тіла греблі важко зберегти неушкодженими верхні частини контрольних марок. Крім того, практично неможливо зафіксувати повністю процес осідання гребеня земляної греблі, бо після



Таблиця 1. Основні характеристики гребель

Назва споруди	Тип конструкції тіла греблі	Висота тіла греблі, м	Матеріал тіла греблі	Основа	Роки будівництва
Лівобережна гребля 1	Однорідна наливна. Дуже широкий гребінь і пологі укоси	25,0...29,5	Пісок	Масив піщаних ґрунтів	1955-1959
Правобережна гребля 1	Однорідна наливна. Вузький гребінь і пологі укоси	15,0...20,0	Пісок	Масив піщаних ґрунтів	1961-1963
Руслова гребля 1	Однорідна наливна. Вузький гребінь і пологі укоси	18,0...21,0	Пісок	Масив піщаних ґрунтів глибиною до 25 м	1962-1963
Руслова гребля 2	Однорідна наливна. Широкий гребінь і пологі укоси	20,0...30,0	Пісок	Масив піщаних ґрунтів із шаром мулу	1954-1956
Заплавна гребля	Однорідна наливна. Широкий гребінь і пологі укоси	18,0...22,0	Пісок дрібнозернистий	Масив піщаних ґрунтів із шаром мулу	1954-1956
Правобережна гребля 2	Насипна. Вузький гребінь і круті укоси	20,0...30,0	Широке ядро із суглинку, кам'яна призма із НБ	Масив глинистих, піщаних і напів-скельних ґрунтів	1980-і роки – 1 етап; 2000 роки – 2 етап
Лівобережна гребля 2	Насипна. Вузький гребінь і круті укоси	23,0...28,0	Центральне ядро із суглинку, кам'яні упорні призми	Масив глинистих, піщаних і напів-скельних ґрунтів	1980-і роки – 1 етап; 2000 роки – 2 етап

зведення тіла греблі до проектною відмітки і до установки постійних контрольних марок проходить певний, досить суттєвий проміжок часу – зазвичай кілька місяців. В цей період виконуються роботи по облаштуванню гребеня: точне планування під проектні відмітки, зведення бетонних парапетів, влаштування інспекторських доріг тощо. І тільки після цього, як правило – із запізненням, встановлюються марки і розпочинаються спостереження. А відомо, що якраз в ці перші місяці відбувається найбільш інтенсивний процес осідання, який потім дещо затухає. Тому зафіксовані інструментальними спостереженнями осад-

ки гребенів та інших елементів поверхні гребель тільки частково відображають дійсні осідання.

Для оцінки повної осадки доводиться застосовувати непрямі методи інтерпретації. Зокрема, застосовується метод порівняння фактичних відміток елементів (насамперед – бетонних парапетів) із їх проектними або виконавчими відмітками. Різниця відміток – це і є повна осадка гребеня греблі за період, який пройшов після зведення парапету. Таким методом автор оцінив повні осадки деяких земляних споруд.

Короткі відомості щодо розглянутих споруд наведено в Табл.1

Таблиця 2. Осідання основ гребель

Назва споруди	Висота греблі, м	Початок спостережень	Проконтрольована осадка основи, мм		
			будівельна	експлуатаційна	повна
1	2	3	4	5	6
1. Лівобережна гребля 1	25,0...29,5	1955р.	120-230	70-210	190-440
2. Правобережна гребля 1	15,0...20,0	1963р.	30	68	98
3. Руслова гребля 1	18,0...21,0	1964р.	24-59	117-122	147-176
4. Руслова гребля 2	20,0...30,0	1955г.	320-480	140-640	460-1120
5. Заплавна гребля	18,0...22,0	1955г.	420-760	40-140	460-900

Примітки:
 1. Малі значення будівельних осадок гребель поз. 2 і поз. 3 пояснюються пізнім початком спостережень.
 2. Великі значення осадок гребель поз. 4 і поз. 5 пояснюються тим, що в основі кожної греблі присутній шар мулу із просадочними властивостями.

Таблиця 3. Осідання гребенів гребель за період інструментальних спостережень

Назва споруди	Висота греблі, м	Початок спостережень	Проконтрольована осадка гребеню, мм		
			за перші роки експлуатації	у подальший період	повна
1	2	3	4	5	6
1. Лівобережна земляна гребля 1	25,0...29,5	1962р.	36-52	18-33	54-85
2. Правобережна гребля 1	15,0...20,0	1963р.	78	105	183
3. Руслова гребля 1	18,0...21,0	1964р.	43 - 84	99 - 185	104-269
4. Руслова гребля 2	20,0...30,0	1956р.	170-350	130-240	300-590
5. Заплавна гребля	18,0...22,0	1958р.	50-150	110-150	160-300
6 Правобережна гребля 2	20,0...30,0	2007г.	20-50	20-32	40-82
7. Лівобережна гребля 2	23,0...28,0	2007г.	100-165	50-85	150-250



Таблиця 4. Повні максимальні осідання гребенів гребель

Назва споруди	Висота греблі, м	Початкова відмітка, м	Кінцева відмітка, м	Різниця відміток (повна осадка), мм	Використані конструкції
1	2	3	4	5	6
1. Руслова гребля 1	21,0	+69,100	+68,800	300	Парапет
2. Руслова гребля 2	30,0	+21,050	+19,950	1100	Парапет
3. Лівобережна гребля 2	28,0	+103,500	+102,940	560	Верх суглинистого ядра

Таблиця 5. Порівняння повних і інструментально визначених осідань гребенів ґрунтових гребель

Назва споруди	Висота греблі, м	Повна осадка, мм	% від висоти греблі	Інструментально-проконтрольована осадка, мм	% від повної осадки
1	2	3	4	5	6
1. Руслова гребля 1	21,0	300	1,4	140	47
2. Руслова гребля 2	30,0	1100	3,7	600	55
3. Лівобережна гребля 2	28,0	560	2,0	250	45

Осідання основ гребель

Осідання основ гребель були визначені, в більшості випадків, методом установки закладних плит на поверхні основ. Після установки плит визначались і фіксувались точні координати центрів марок, в тім числі початкові відмітки плит $H_{пл. поч.}$. Марки захищались від випадкових дій в початковий період зведення гребель. Після зведення тіла греблі на її поверхні виносилась точка, що знаходилась точно по одній вертикалі із раніше зафіксованим центром плити. Із цієї точки бурилась свердловина до поверхні плити із кріпленням стінок. Вимірювалась глибина свердловини і по ній на поверхні складалась штанга відповідної довжини із трубчатих ланок, щільно з'єднаних муфтами. На верхній торець штанги жорстко кріпилась марка із сферичною поверхнею. Точно вимірювалась довжина штанги від нижнього торця до верхньої точки сферичної марки $L_{шт.}$. Далі штанга опускалась в свердловину до щільного контакту нижнього торця із поверхнею закладної плити. Шляхом прив'язки до репера висотної основи визначалась відмітка головки марки $H_{гол.}$. Виразовувалась фактична відмітка закладної плити $H_{пл. факт} = H_{гол.} - L_{шт.}$. Осадка плити за період зведення греблі $dH = H_{пл. поч.} - H_{пл. факт.}$, це і є осадка поверхні основи. Далі контролювалось продовження осідань основи в період експлуатації.

У Табл. 2 наведені результати спостережень по ділянках гребель із найбільшою висотою. Порівняльний аналіз даних таблиці виявляє такі особливості осідань гребель:

а) Висоти різних гребель, а відповідно і навантаження на основу, різняться не більше, ніж у 1,5 рази. В той же час, їх осідання відрізняються в кілька разів, а в деяких порівняльних парах навіть на порядок. Це обумовлено різною будовою основи, а також різними умовами спостережень, від-

повідно – різною повнотою і якістю результатів.

б) Хід осадок основ на представлених ділянках гребель не дуже відповідає теоретичній моделі, згідно із якою експлуатаційні осідання значно менші будівельних і повинні мати затухаючий характер. В чотирьох випадках, із п'яти представлених у Табл. 2, експлуатаційні осадки співставні із будівельними або навіть більші за них, при цьому осідання продовжуються.

Зауважу, що наведені дані не мають всеосяжного характеру щодо вибраних споруд. Розглянуті найбільш характерні ділянки гребель, які мають найбільшу висоту і найбільші осідання. На ділянках, де греблі мають меншу висоту, осадки, як правило, менші і мають затухаючий характер або зовсім припинились.

Осідання поверхонь гребель контролювали шляхом нівелювання поверхневих марок, які устанавлювались в контрольних створах із запізненням у декілька місяців після зведення споруд. Результати спостережень у характерних контрольних створах гребель дивись Табл. 3. Розглянуті ділянки гребель із найбільшою висотою.

Як видно із таблиці, інструментально проконтрольовані осадки гребенів гребель дещо більш рівномірні, ніж осадки основ. По більшості гребель на розглянутих ділянках осідання продовжувались протягом всього періоду експлуатації, причому не відмічається явне затухання осадки.

Визначення повних осадок непрямим методом. Основним методом є порівняння фактичних відміток бетонних елементів (бетонних парапетів, бетонних доріг тощо) із їх початковими (проектними) відмітками. Приймається за аксіому, що виконавчі відмітки бетонних елементів відразу після їх влаштування незначним чином відрізнялися від проектних – в межах будівельних допусків. В якості фактичних в більшості використовувались відмітки бетонних елементів гребенів із останніх версій топографічних планів споруд.



Різниця вказаних відміток — це значення осадки за період, що пройшов після зведення паропету. Можна вважати, що це значення близьке до повної осадки гребеня греблі за період експлуатації.

В Табл. 4 наведені вихідні дані і значення врахованих повних осадок по тих спорудах, де це було можливо. Це осадки в контрольних поперечниках із найбільшою висотою тіла гребель, які є максимальними по їх довжині.

У Табл. 5 показане співвідношення інструментально визначених і повних осідань.

Порівняння показує, що проконтрольована інструментальними спостереженнями осадка гребенів ґрунтових гребель складає до половини фактичної повної осадки. Повна осадка гребенів ділянок гребель із найбільшою висотою за період експлуатації складає від 1,4% до 3,7% від висоти греблі. Слід сказати, що осадка гребеня греблі відображає в основному процес ущільнення тіла греблі за період експлуатації, але також до цієї осадки входить і відносно невелика частка, що відображає залишкове ущільнення масиву основи. Сумарна максимальна осадка основи (за період будівництва) і тіла гребель (за період експлуатації) складає до 7–8% від висоти греблі.

Зауважу, що в практиці спостережень за осіданнями ґрунтових споруд та оцінки їх результатів має місце певний парадокс. Як правило, скрізь в експлуатаційній документації фігурують дані інструментальних спостережень за осіданнями. А те, що фактичні осідання споруд значно більші і в деяких випадках фактична відмітка гребеня може наблизитися до рівня мінімального нормативного перевищення над ФПР, залишається як би "за кадром". Така практика склалася ще за часів СРСР і продовжується в Україні.

На Рис. 1 показана найбільш характерна діаграма повної осадки на прикладі руслової греблі одної із ГЕС Дніпровського каскаду. Верхня крива на діаграмі побудована на основі числових значень із відомості інструментально визначених осадок. Це та осадка, яка фігурує в усіх експлуатаційних документах. Нижня крива відтворює хід повної осадки. Фрагмент кривої між двома верхніми точками показує осадку, що відбулася за період від зведення тіла греблі до початку інструментальних спостережень.

Висновки і пропозиції

1. Осідання ґрунтових гребель, тобто ущільнення ґрунтового масиву основи і тіла — складний і неоднорідний процес, обумовлений складною анізотропною структурою основ, а також нерівномірною штучною структурою тіла.

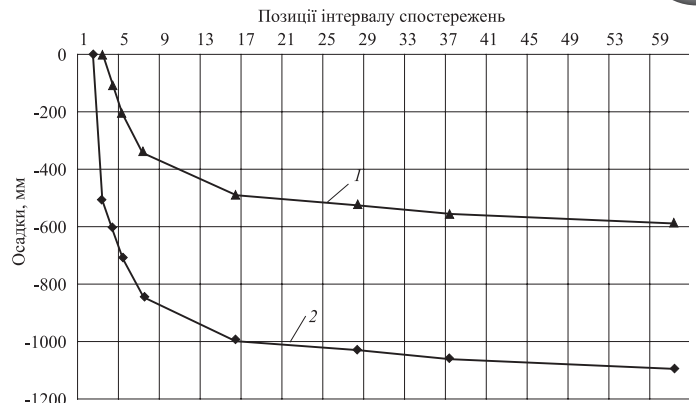


Рис. 1. Осадка гребня руслової греблі: 1 — інструментально проконтрольована, 2 — повна

2. Висоти розглянутих гребель відрізняються лише у півтора рази і менше, а осадки їх основ — в декілька разів і більше. Експлуатаційні осадки основ співставні із будівельними або більші за них, при цьому осідання в частині контрольних точок продовжуються.

3. Інструментально проконтрольовані осадки гребенів гребель дещо рівномірніші, ніж осадки основ. По більшості гребель на розглянутих ділянках осідання продовжувались протягом всього періоду експлуатації, причому не відмічається явне затухання осадки.

4. Проконтрольована інструментальними спостереженнями осадка гребенів ґрунтових гребель складає до половини фактичної повної осадки. Повна осадка гребенів ділянок гребель із найбільшою висотою за період експлуатації складає від 1,4% до 3,7% від висоти греблі.

5. Враховуючи складний неоднозначний характер осідань і їх продовження, є необхідність ретельного продовження контролю осадок гребель та їх основ.

6. На практиці контролю слід враховувати не тільки ті осідання ґрунтових гребель, які визначені традиційними інструментальними методами, а визначати і оцінювати також повні осідання.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В 2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення.
2. ДБН В 2.20-3:2014. Гідротехнічні споруди. Основні положення.
3. ДБН В.2.1-10-2009. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.
4. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електростанцій України. Правила. Підрозділ 7.1. Гідротехнічні споруди і їх механічне обладнання.
5. ГКД 34.21.542-2003. Гідротехнічні споруди гідроелектростанцій. Інструкція з експлуатації.