



МОЖЛИВОСТІ ТА СКЛАДНОСТІ ОЦІНКИ СТАНУ ЗЕМЛЯНИХ ГРЕБЕЛЬ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ

Основна небезпека аварій на об'єктах гідроенергетики з найбільш важкими наслідками [1] пов'язується з напірними гідропоруками — греблями, про що свідчить історія гідроенергетичного будівництва. Тому питання забезпечення надійної і безпечної експлуатації гребель є одним з актуальних і пріоритетних для інженерів-гідротехніків і гідроенергетиків.

Важливою особливістю гребель, в порівнянні з іншими техногенними об'єктами, що підпадають під дію Закону України "Про об'єкти підвищеної безпеки" [2], є необхідність забезпечувати безперервність їх експлуатації навіть у випадках аварійних ситуацій. При виникненні аварійної ситуації греблю не можна автоматично вивести з експлуатації. В багатьох таких випадках греблі відіграють роль останнього резерву, що здатен у форсованому режимі експлуатації відвернути техногенну катастрофу [3].

З метою запобігання аварійних ситуацій греблі потребують постійного контролю їх стану. Удосконалення приладів та методів моніторингу, а також принципів і методів аналізу даних спостережень є одним із напрямків підвищення надійності і безпеки гребель, що знаходяться в експлуатації. На міжнародному рівні значна робота в цьому напрямку ведеться Міжнародною комісією з великих гребель (ICOLD), членом якої з 2010 р. є і Україна [4]. Серед найбільш актуальних завдань, що в різні роки ставила перед собою ICOLD, — підтримка зусиль міжнародної інженерної спільноти, направлених на створення ефективних систем контролю та моніторингу стану гребель, систем попередження про аварійні ситуації на напірних спорудах. Про важливість таких систем для забезпечення надійності і безпеки гребель в Бюлетені 59 ICOLD ("Dam safety — Guidelines" [5]), перший проект якого вийшов ще в 1987 р., відзначалось, що "Більшість зруйнованих гребель не мали моніторингу та систем попередження, або ж мали ці системи, але вони були недосконалими".

К л ю ч о в і с л о в а: земляні греблі, автоматизовані системи контролю, оцінка стану греблі, контроль фільтрації, н'єзометричні спостереження.

Постановка задачі досліджень та мета роботи. На сьогодні роботи з впровадження сучасних систем контролю стану гребель і моніторингу, різного роду прогностичних систем і систем попередження про аварії на гідропоруках, в тому числі з широким використанням засобів комп'ютеризації і автоматизації, ведуться в усіх країнах світу, де розвиваються гідротехнічне будівництво і гідроенергетика [6]. Відповідні системи впроваджуються і в Україні [7, 8].

Характерною особливістю вітчизняних об'єктів гідроенергетики є наявність в їх складі великих гребель із ґрунтових матеріалів, більшість з яких — земляні. Ці греблі часто складають значну частину напірного фронту, що має враховуватися при організації систем контролю і моніторингу на вітчизняних гідровузлах. Практика показує, що гідропоруди різного типу й конструкції по-різному можуть себе поводити в екстремальних ситуаціях. Якщо, наприклад, надійність і безпека бетонних гідропоруд, головним чином, обумовлюється стійкістю системи "споруда-основа", то для земляних гребель важливо контролювати процеси фільтрації, зокрема внутрішню ерозію в тілі споруд та основи, і в жодному разі не допускати переповнення верхніх б'єсів із загрозою переливу води через гребінь [9].

Контроль стану земляних гребель здійснюють на основі даних спостережень, які проводять візуальним та інструментальним методами, що мають взаємно доповнювати один одного. Слід враховува-

ти, що моніторинг земляних гребель ніколи не зможе бути повним, щоб вичерпно охопити всі можливі чинники впливу, ознаки, параметри, характеристики, компоненти гідропоруд [10]. Найсучасніші види інструментального контролю та автоматизовані системи моніторингу дозволяють контролювати порівняно невелику (обмежену) кількість факторів, ознак, параметрів — для окремих перерізів, характерних ділянок споруди тощо. При цьому забезпечення безпеки земляної греблі на основі даних спостережень має передбачати і оперативне прийняття рішень щодо режимів її подальшої експлуатації на основі опрацювання і інтерпретації даних спостережень, та складання судження про теперішній та майбутній стани споруди в цілому.

Таке розуміння процесу контролю стану відповідає основним принципам технічної діагностики та контролю стану систем і технічних об'єктів, сформульованим Р. Коллакотом [11]:

- 1) послідовність й систематичність (безперервність) вимірювань параметрів й ознак, обраних в якості діагностичних;
- 2) виявлення змін в поведінці цих параметрів й ознак в часі;
- 3) прогнозування майбутнього стану об'єкта діагностування з врахуванням цих змін.

Прогнозування стану греблі відповідно до даних інструментального контролю, а це кількісні дані, має передбачати використання відповідних цим даним математичних моделей. При цьому в



залежності від горизонту прогнозування можуть складатися як оперативні прогнози, отримані на основі поточних даних для найближчої перспективи, так і строкові.

Під оперативністю контролю стану споруди надалі ми будемо розуміти своєчасність виявлення небезпечних явищ в роботі об'єкта спостереження, що залишає достатньо часу для здійснення необхідних заходів для запобігання виникнення аварійних ситуацій. В такому розумінні підвищення оперативності контролю гребель розглядається як задача здійснення ефективного прогнозування їх майбутніх станів.

Основними процесами, що визначають стан земляних гребель, є деформації (вертикальні та горизонтальні) та фільтрація [12]. Традиційно при спостереженнях за земляними греблями інструментальними методами вимірюють осідання, фільтраційну витрату та п'єзометричні напори. При цьому кожен із цих параметрів за інформативністю частково дублює інші. Наприклад, наявність просідань в тілі греблі може бути виявлене за збільшенням фільтраційної витрати, а локальне підвищення п'єзометричних напорів може бути пов'язане із зменшенням фільтраційної витрати внаслідок замулення фільтра дренажу. Це дозволяє здійснювати оцінку стану земляної гідроспоруди навіть за умови наявності даних спостережень лише за одним із вказаних параметрів. Дані спостережень за рештою параметрів, при цьому, допомагають в розумінні причин явищ, що спостерігаються.

В контексті забезпечення належної оперативності проведення оцінки стану споруди, з урахуванням частоти, з якою традиційно проводяться заміри різних діагностичних параметрів, контроль фільтрації на земляних греблях набуває особливого значення.

Кожен із параметрів, що характеризує фільтраційний процес, має свої переваги та недоліки щодо інформативності контролю й оцінки стану.

Фільтраційну витрату, зазвичай, контролюють в місцях скиду зібраної фільтраційної води в колектор або в самому колекторі. Фільтраційна витрата є інтегральним показником, який дозволяє контролювати стан якщо не всієї споруди, то її відносно значної частини, виявляти можливість розвитку різного роду фільтраційних деформацій (насамперед суфозії) в тілі та основі греблі. Однак, за умови порушення роботи дренажних пристроїв фільтраційна витрата, як діагностичний параметр, втрачає інформативність. Слід також враховувати, що певна частина фільтраційної витрати може збиратися також і з прилеглої до греблі території.

П'єзометричні напори є локальними показниками, оскільки характеризують лише окремі перерізи споруди, однак їх контролювати порівняно простіше, і, в цілому, результати п'єзометричного контролю, як показує наш досвід аналізу даних ре-

гулярних п'єзометричних спостережень, можуть ефективно використовуватися при прогнозуванні.

Зокрема, в [13] показано, що для прогнозування положення рівня води в п'єзометрі (РВП) достатньо використати модифікований параметр у вигляді величини перепаду (падіння) напору в розрахунковій області фільтрації (наприклад, на ділянці між урізом води в верхньому б'єфі та відповідним п'єзометром, що розміщується на межі розрахункової області фільтрації: $\Delta h = \downarrow P_{ВБ} - \downarrow P_{ВП}$, де $\downarrow P_{ВБ}$ – відмітка рівня води у верхньому б'єфі, $\downarrow P_{ВП}$ – відмітка рівня води у п'єзометрі). При цьому, при побудові математичної моделі залежності перепаду напору від рівня води в верхньому б'єфі (РВБ) можна отримати достатньо точний ситуаційний прогноз РВП на віддалену перспективу (декілька років), а з точки зору оперативності контролю стану споруди використання РВБ в якості незалежного параметра створює можливості для управління її роботою, оскільки це єдиний параметр, що характеризує зовнішній вплив на споруди і піддається керуванню.

Можливості та виклики оцінки стану за даними контролю АСК. Впровадження автоматичних систем контролю (АСК) є значним кроком в напрямку удосконалення системи оперативного контролю за станом споруд, в тому числі і земляних гребель. Такі системи мають не тільки суттєві технічні переваги, такі, наприклад, як зменшення трудомісткості операцій, пов'язаних із збором, передачею даних та створенням потужних електронних баз даних спостережень [7, 14]. Вони створюють і більш широкі можливості щодо проведення аналізу даних. При впровадженні АСК всі контрольні показники стану споруди та показники зовнішнього впливу на споруду можуть замірятися з однаковою частотою в одні і ті ж моменти часу.

Впровадження сучасних інструментальних засобів контролю в складі АСК створює додаткові умови для реалізації першого принципу технічної діагностики та контролю стану систем і технічних об'єктів Р. Коллакота, який полягає в забезпеченні систематичного та послідовного накопичення надійних даних спостережень. Так, важливе значення для забезпечення інструментального контролю стану споруди має надійність (працездатність) контрольної-вимірювальної апаратури (КВА), що встановлюється в тілі греблі, в основі, на поверхнях тощо (наприклад, у випадку п'єзометричних спостережень – п'єзометрів), яка, як і будь-який технічний засіб, з часом може виходити з ладу. Зокрема, п'єзометрам властиве замулення, внаслідок чого відбувається зниження їх чутливості – швидкості їх реакції на зміну напорів фільтраційного потоку. При належному функціонуванні АСК з'являється можливість оперативно контролювати працездатність КВА. В результаті,



Таблиця 6. Розрахункові водноенергетичні характеристики ГЕС України

Гідроелектро-станція	Ріка	Площа водосховища S_0 , км ²	Встановлена потужність $N_{вст}$, МВт	$S_0 / N_{вст}$, км ² /МВт	Вирібок електроенергії E , млн. кВт×год.	S_0 / E , км ² /млн. кВт×год.	Напір H , м
Каховська	Дніпро	2155	351	6,140	1489	1,447	13,8
Кременчуцька	Дніпро	2250	632,9	3,555	1506	1,494	14,2
Київська	Дніпро	922	408,5	2,257	683	1,350	12,0
Канівська	Дніпро	675	444	1,520	972	0,694	11,0
Середньо-дніпровська	Дніпро	567	352	1,611	1328	0,427	10,5
Дніпровська	Дніпро	410	1569	0,261	4008	0,102	34,3
Дністровська	Дністер	142	702	0,202	865	0,164	40,0
Дністровська ГЕС-2	Дністер	6,1	40,8	0,150	105	0,058	11,4

Таблиця 7. Розрахункові водноенергетичні характеристики ГЕС Австрії

Гідроелектро-станція	Ріка	Площа водосховища S_0 , км ²	Встановлена потужність $N_{вст}$, МВт	$S_0 / N_{вст}$, км ² /МВт	Вирібок електроенергії E , млн. кВт×год.	S_0 / E , км ² /млн. кВт×год.	Напір H , м
Annabruecke	Драва	3,5	90	0,039	390	0,009	24,3
Greifenstein	Дунай	10	293	0,034	1752	0,006	12,6
Edling	Драва	10,5	87	0,121	407	0,026	21,5
Ybbs-Persenbeug	Дунай	10	236,5	0,042	1370	0,007	10,9
Feistritz-Ludmannsdorf	Драва	3,3	88	0,038	351	0,009	27,0
Ferlach-Maria Rain	Драва	2,8	75	0,037	316	0,009	21,4

Таблиця 8. Розрахункові водноенергетичні характеристики ГЕС Франції

Гідроелектро-станція	Ріка	Площа водосховища S_0 , км ²	Встановлена потужність $N_{вст}$, МВт	$S_0 / N_{вст}$, км ² /МВт	Вирібок електроенергії E , млн. кВт×год.	S_0 / E , км ² /млн. кВт×год.	Напір H , м
Vaugris	Рона	5	72	0,069	335	0,015	6,7
Gervans	Рона	3	120	0,025	668	0,004	11,5
Caderousse	Рона	9,5	156	0,061	843	0,011	8,6
Kembs	Рейн	2,8	156	0,018	900	0,003	14,2
Sablons	Рона	7	160	0,044	885	0,008	12,2
Salignac	Дюранс (Рона)	1,18	88	0,013	250	0,005	29
Sauveterre	Рона	7	52	0,135	257	0,027	9,5

добре налагоджена АСК підвищує надійність даних спостережень.

Реалізація другого й третього принципів Р. Коллакота потребує аналізу даних, отриманих в результаті моніторингу, їх опрацювання та моделювання з використанням цих даних. Автоматичні системи контролю створюють умови для більш глибокого аналізу даних спостережень, зокрема, завдяки можливості задавати потрібну частоту замірів. При цьому, за умови безперервності збору даних, збільшення частоти спостережень дозволяє створювати (відбирати) з загального ряду спостережень репрезентативні вибірки даних навіть на відносно коротких часових інтервалах, і, таким чином, здійснювати ситуаційне моделювання і прогнозування [13].

Збільшення частоти замірів сприяє виявленню ситуаційних змін – змін так званого "прогнозного фону" [13] – які, в іншому випадку, могли б трактуватися як помилкові покази, тощо. При цьому необхідна частота замірів може обґрунтуватися в залежності від режимів роботи споруди та конкретної задачі моделювання і прогнозування.

Завдяки АСК також значно зростають технічні можливості обробки даних. Основною є змога

швидкого перетворення первинних даних (у випадку п'єзометричних спостережень – рівня води в п'єзометрі) в інші (похідні) величини, необхідні для аналізу даних, а також графічного представлення результатів аналізу у вигляді графіків і діаграм із довільним вибором залежних і незалежних змінних. Зокрема, шляхом нескладних математичних перетворень з первинних даних можуть бути обчислені градієнти напору на різних ділянках перерізу греблі, за яким, згідно [15], і має проводитися оцінка за граничними станами, хоча цей показник все ще мало використовується при оцінці стану земляних гребель за даними моніторингу. Такий модифікований показник як перепад напору на шляху фільтрації до п'єзометра, дозволяє здійснювати прогнозне моделювання й також отримувати шляхом простих математичних дій із первинного показника РВП.

Поряд із беззаперечними перевагами впровадження АСК виникають і певні складності. АСК, по суті, стає частиною складної технічної системи, якою є земляна гребля, її додатковим елементом, що ще більш ускладнює цю систему. В тому числі АСК властиві такі особливості функціонування,

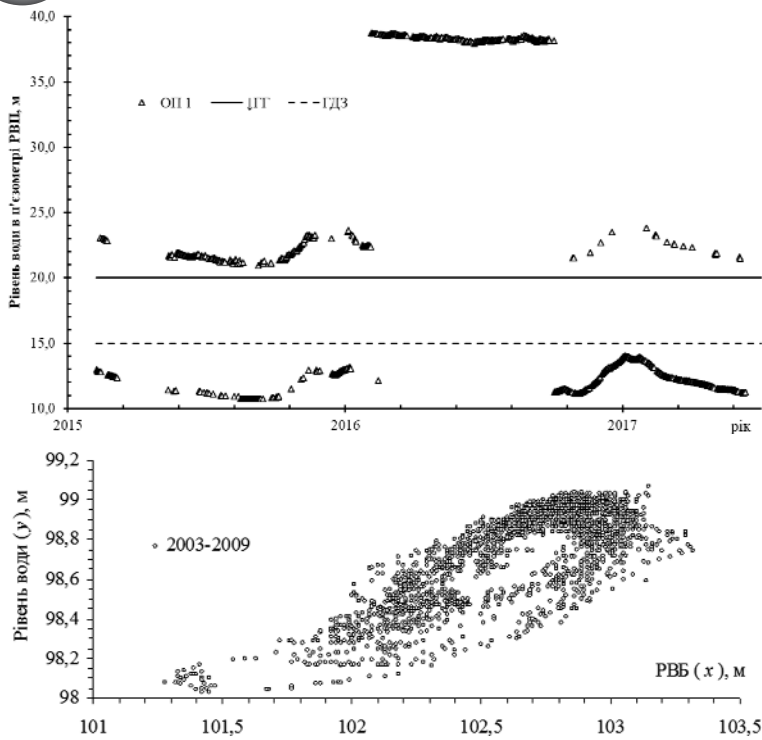


Рис. 1. Приклади рядів спостережень за рівнями води в п'єзометрах, що містять сумнівні дані, для земляної греблі Дніпровського каскаду, обладнаної АСК

як вихід з ладу датчиків та каналів зв'язку. Ряди даних часто містять сумнівні дані, які можуть бути пов'язані як із впливом на роботу датчиків зовнішніх факторів, таких, як електромагнітні поля ЛЕП та іншого обладнання, стрибків напруги, атмосферних електричних явищ тощо [7], так і з людським фактором: помилками при налаштуванні обладнання, неправильним введенням нульових значень. Це свідчить про те, що АСК може вияви-

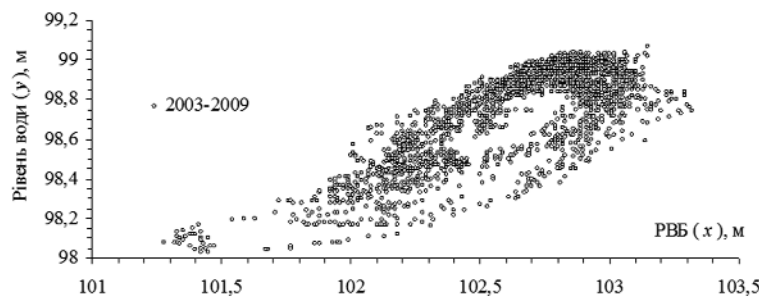


Рис. 2. Приклад неоднорідності даних спостережень при побудові моделі залежності рівня води в п'єзометрі (y) від рівня води в верхньому б'єфі (x) для земляної греблі Дніпровського каскаду, обладнаної АСК

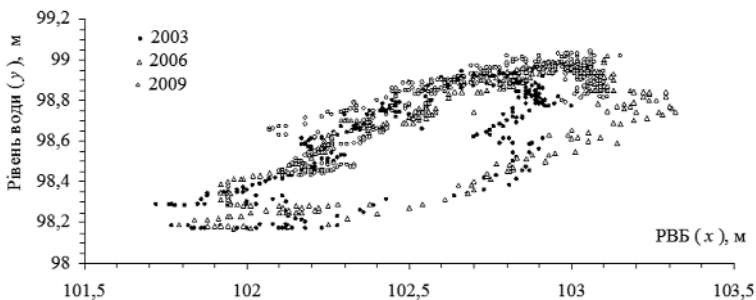


Рис. 3. Приклад структуризації задачі моделювання залежності рівня води в п'єзометрі (y) від рівня води в верхньому б'єфі (x) із розбивкою на дані різних часових інтервалів для земляної греблі Дніпровського каскаду, обладнаної АСК

тися ненадійною як щодо можливостей збору і передачі даних, так і щодо показів датчиків.

Наявність сумнівних даних, які "випадають" із загальної тенденції, — це одна з найбільш складних проблем, із якими стикається оператор при аналізі отриманих даних. Частина сумнівних даних може відносно легко пояснюватись (наприклад, систематичними помилками, неправильним введенням установочних параметрів та ін.); надалі такі дані можуть трактуватися як помилкові й виправлятися. Частина сумнівних даних може так і залишатися непоясненою. Таким чином задача відсіювання даних, в результаті розв'язання якої повинні бути відкинуті тільки дійсно помилкові покази, ускладнюється, оскільки дані із непоясненими відхиленнями відкидатися не можуть. Такий відсів даних повинен бути обґрунтованим та проводитися за алгоритмами, які ще потребують розробки. Наприклад, такий алгоритм, крім традиційних методів статистичного аналізу, а також перевірки можливості значного зростання рівня води в п'єзометрі внаслідок інфільтрації зливових вод, виходу з ладу п'єзометра (його замулення або замерзання) тощо, має передбачати й розв'язання обернених задач фільтрації тощо [10].

Приклад рядів спостережень, що містять сумнівні дані, які можуть трактуватися як помилкові, наведено на Рис. 1.

З іншого боку, збільшена частота зняття показів веде до утворення великих масивів даних, що потребує збільшення часу на їх обробку, в зв'язку із чим при опрацюванні даних може виникнути тенденція до ігнорування "застарілих" даних [14], коли в основній масі дані лише архівуються, а аналіз проводиться лише на окремих їх фрагментах. Крім того, наявність великої кількості даних спонукає дослідника відстежувати лише загальні тенденції зміни контрольних показників. Більш дрібні ефекти при цьому можуть "губитися", залишитися поза увагою.

Опрацювання великої кількості даних при сучасному розвитку електронних засобів обчислень, в принципі, не є складною задачею. На нашу думку більш актуальною задачею є не оптимізація кількості даних, насамперед з ціллю зменшення їх об'єму, а регулярна та послідовна їх обробка. Для цього слід забезпечити можливість вивчення масивів даних, накопичених АСК, як фахівцями в сфері гідротехнічного будівництва, так і фахівцями в області аналізу даних, з метою розробки нових алгоритмів обробки та інтерпретації даних.

Врахування впливу тих чи інших факторів не може бути повністю формалізованим.



Автоматизована система не здатна повністю замінити людину, яка продовжуватиме виконувати функції планування та аналізу даних спостережень.

Земляні греблі, як і більшість гідротехнічних споруд є унікальними об'єктами, тому при оцінці їх стану за даними спостережень мають враховуватися особливості кожної із споруд, що, поряд із традиційними процедурами, потребує евристичного підходу. Такий підхід важливий як на етапі визначення параметрів та критеріїв оцінки стану споруди, так і на етапі інтерпретації даних спостережень. Це виводить задачу оцінки стану споруди на інший рівень складності.

Зокрема, характерним для даних спостережень є те, що збільшення кількості даних веде до зменшення їх однорідності. При цьому спостерігається значне розсіяння значень. Приклад неоднорідності (розсіяння) даних спостережень при побудові моделі залежності рівня води в п'єзометрі від рівня води в верхньому б'єфі наведено на Рис. 2.

Зменшення однорідності даних при моделюванні веде до ускладнення моделі за рахунок необхідності врахування додаткових факторів, що часто призводить до побудови неадекватних моделей за даними спостережень [10]. Неоднорідність даних та пов'язані із нею складності при побудові математичних моделей вимагають звернутися до пошуку нових підходів до моделювання.

Одним із прикладів підходу до моделювання в умовах значної неоднорідності даних може бути їх фрагментація — розбивка на дані окремих часових періодів — декад, місяців або років, що дає змогу структурувати задачу, розбити її на кілька більш простих задач, і, відповідно, спростити процес побудови адекватних математичних моделей, розмірність яких при цьому знижується. Цей підхід було реалізовано при побудові ситуаційних моделей перепадів напору для окремих часових періодів (ситуацій) [13]. Приклад фрагментації даних спостережень на вибірки для окремих часових інтервалів показано на Рис. 3.

Фрагментація ряду спостережень дає змогу відстежувати еволюційні зміни, що відбуваються в споруді з часом. В рамках запропонованого ситуаційно-індуктивного моделювання [13] еволюційні зміни стану земляної греблі розглядаються на рівні еволюції відповідних ситуаційних моделей і представлені за допомогою індуктивних моделей, які отримуються з узагальнення (ансамблів) простих, ситуаційних моделей.

Внаслідок інерційності процесів, що відбуваються в земляній греблі, реакція споруди й окремих її елементів на навантаження й впливи часто проявляється із затримкою в часі — лагом. При систематичному контролі завдяки збільшенню кількості даних з'являється можливість відстежувати та оцінювати лагові ефекти.

Оскільки остаточною метою моніторингу споруд є оцінка їх стану та забезпечення безпеки, аналіз даних передбачає перевірку відповідності показників стану певним критеріальним значенням. Згідно чинних інструкцій з експлуатації споруд гідровузлів щодо п'єзометричних спостережень, як правило, регламентовано лише перевірку відповідності показів п'єзометрів певним значенням, визначеним як гранично допустимі (ГДЗ). Така перевірка фактично є заходом проведення лише точної оцінки стану споруди. Необхідно розширити можливості аналізу стану споруди за рахунок використання більш складних діагностичних показників, як того вимагають нормативні документи [15] відповідно до оцінки за граничними станами.

Висновки. Підвищення оперативності контролю земляних гребель розглядається як задача здійснення ефективного прогнозування їх майбутніх станів. Впровадження автоматизованих систем контролю (АСК) розширює можливості контролю стану споруд та створює умови для оперативного систематичного спостереження інструментальними методами, однак це веде до ускладнення системи, утворення великих масивів даних, які потребують регулярної обробки та інтерпретації, що потребує широкого залучення фахівців для виведення задачі моніторингу на основі даних спостережень на якісно новий рівень. Нові можливості та складності, пов'язані із впровадженням АСК, потребують постановки нових задач в підходах до обробки даних та оцінки стану земляних гребель, зокрема, нових підходів до моделювання та прогнозування поведінки споруд, а також розширення переліку діагностичних показників, за якими проводиться оцінка їх стану та обґрунтованого призначення гранично допустимих значень. Такі задачі потребують евристичного підходу, отже без участі людини-експерта при оцінці стану та безпеки земляних гребель не обійтися.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стефанишин Д.В. Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки / Д.В. Стефанишин // Гідроенергетика України. — № 3—4. — 2011. — С. 52—60.
2. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів / Затверджена наказом МНС України від 23.02.2006 р. за № 98. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 20.03.2006 р. за № 286/12160.
3. Стефанишин Д.В., Трофимчук О.М. Методологічні підходи до оцінки та врахування ризику в задачах забезпечення надійності і безпеки гребель // Концепція захисту критичної інфраструктури: Стан, проблеми та перспективи її впровадження в Україні. Зб. Матеріалів міжнародної науково-практичної конференції (7-8 листопада 2013 р., Київ-Вишгород) Національний інститут стратегічних досліджень. Серія "Національна безпека". Вип. 5. — К.: 2014. С. 88—98.
4. Карамушка А.М. Україна — член Международной комиссии по большим плотинам / А.М. Карамушка, А.И. Касьяненко, Ю.А. Ландау // Гідроенергетика України. — 2010. — № 3. — С. 1—4.



5. *Dam safety – Guidelines*. ICOLD. Bulletin No. 59, 1989.
6. *Wieland M.* Dam safety, emergency actions plans and water alarm systems / M. Wieland, R. Mueller // *International Water Power & Dam Construction*. – January. – 2009. – P. 34–38.
7. *Герасимович Н.М., Чузунников В.С., Шульга В.А.* Первые итоги разработки и внедрения автоматизированных систем контроля гидротехнических сооружений (АСК ГТС) гидроэлектростанций Днепровского каскада и задачи их дальнейшего совершенствования // *Гідроенергетика України*. – 2007. – № 2. – С. 26–33.
8. *Бисовецкий Ю.А.* Автоматизация геодезических наблюдений за гидротехническими сооружениями гидроэлектростанций Укргідроенерго / Ю.А. Бисовецкий, К.Р. Третьяк, Э.С. Щучик // *Гідроенергетика України*. – № 2. – 2011. – С. 45–51.
9. *Стефанишин Д.В., Корбутяк В.М., Трофимчук О.М.* Перспективи використання геоінформаційних технологій в завданнях забезпечення надійності й безпеки гідроенергетичних об'єктів // *Гідроенергетика України*. – 2013. – № 2. – С. 6–9.
10. *Стефанишин Д. В.* Про один підхід до оцінки стану земляної греблі, що перебуває в постійній експлуатації, за даними регулярних п'єзометричних спостережень / Д. В. Стефанишин // *Гідроенергетика України*. – 2012. – № 3. – С. 27–32.
11. *Collacott R. A.* Structural Integrity Monitoring / R. A. Collacott. London – New York. Chapman and Hall, 1985. – 455 p.
12. *Малаханов В.В.* Техническая диагностика грунтовых плотин / В.В. Малаханов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 121 с.
13. *Стефанишин Д.В., Дем'янюк А.В.* Прогнозування рівня води в п'єзометрі в тілі земляної греблі біля дренажу за даними регулярних п'єзометричних спостережень // *Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Серія Технічні науки*. Вип. 4 (68) – Рівне, 2014. – С. 90–100.
14. *International Commission on Large Dams (ICOLD)* (2016). *Dam surveillance guide*. Bulletin No. 158. Paris. 109 pages.
15. *ДБН В.2.4-20:2014.* Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення / *ДБН В.2.4-20:2014*. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2015. – 37 с. – (Національний стандарт України).

© Дем'янюк А.В., Стефанишин Д.В., 2018

