

ДІАГНОСТУВАННЯ ЯК МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ СТАНУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

*А.Б. Качинський, радник директора
Національного інституту стратегічних досліджень
при Президентові України, д-р техн. наук, проф.;*
*Н.В. Агаркова, наук. співробітник
(Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України)*

У роботі проведено аналіз методів оцінки стану гідроспоруд. Основним підходом до дослідження було обрано діагностування складних технічних систем.

У рамках цього підходу було розглянуто п'ять математичних методів дослідження, два з яких є кількісними методами (ймовірнісний підхід та автоматизована діагностична система Байєса), які дозволяють отримати ймовірнісні оцінки виникнення аварій на гідроспорудах різних класів наслідків, розрахункові значення ймовірності перевищення максимальних витрат води на даних об'єктах та коефіцієнти надійності за навантаженням. Інші три методи з розглянутих (теорія нечітких множин, розпізнавання образів та кластерний аналіз) можна віднести до класу якісних моделей, які, в свою чергу, можуть бути застосовані до класифікації станів об'єктів гідротехнічного призначення та прилеглих територій, а також моніторингу складних систем, до яких належить і система ГТС.

В работе проведен анализ методов оценки состояния гидросооружений. Основным подходом к исследованию данного вопроса был выбран метод диагностики сложных технических систем.

В рамках этого подхода рассматривалось пять математических методов исследования, два из которых являются количественными методами (вероятностный подход и автоматизированная диагностическая система Байеса), и которые позволяют получить вероятностные оценки возникновения аварий на гидросооружениях различных классов последствий, расчетные значения вероятности превышения максимальных расходов воды на данных объектах и коэффициенты надежности по нагрузке. Другие рассмотренные три метода (теория нечетких множеств, распознавания образов и кластерный анализ) можно отнести к классу качественных моделей, которые, в свою

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

очередь, могут быть применены к классификации состояний объектов гидротехнического назначения и прилегающих территорий, а также мониторинга сложных систем, к которым относится и система гидротехнических сооружений.

In work the analysis of methods of an estimation of a condition of hydroconstructions is carried out. The basic approach to this point in question research had been chose a method of diagnostics of difficult technical systems. Within the limits of this approach it was considered five mathematical methods of the research two of which are quantitative methods (the likelihood approach and automated diagnostic system Bajesa) and which allow to receive likelihood estimations of occurrence of failures on hydroconstructions of various classes of consequences, settlement values of probability of excess of the maximum expenses of water on the given objects and reliability factors on loading. Other considered three methods (the theory of indistinct sets, recognition of images and кластерный the analysis) can be carried to a class of qualitative models which, in turn, can be applied to classification of conditions of objects of hydraulic engineering appointment and adjoining territories, and also monitoring of difficult systems which the system of hydraulic engineering constructions concerns also.

Вступ

Зі зростанням населення Землі з 1,65 млрд. чол. у 1900р. до 7 млрд. чол. у 2011р. у ряді регіонів земної кулі водні ресурси виявились на грані використання, виникла серйозна стурбованість станом навколишнього середовища. ХХ та ХХІ століття можна вважати періодом найбільш активного освоєння прісних вод, впродовж якого із 37,3 тис. км³ річного об'єму стоку рік у світі регульованими виявились близько 6 тис. км³, що зажадало зведення 36235 високих гребель усіх типів [1].

Тільки за останні 40-50 років було побудовано більш ніж 85% всіх існуючих у світі гребель. Щорічно на земній кулі вступають в експлуатацію кілька сотень нових водосховищ із загальною площею, що перевищує акваторію десяти Азовських морів. Зараз вже не так багато річок, на яких немає хоча б подібної споруди.

Зведення гідротехнічних споруд (далі – ГТС) у густонаселених районах завжди висувало низку проблем, найважливішою з яких було забезпечення надійності споруд та безпеки населення на ділянці їх розташування. Підпірні ГТС у своїй більшості - досить надійні та довговічні споруди, більшість із них функціонують десятки і навіть сотні років. Проте матеріали світової статистики та події останніх десятиліть свідчать про те, що аварії на гідровузлах можливі, вони можуть призвести до пошкодження і руйнування гребель і прилеглих до них споруд.

На відміну від промислових, транспортних та інших споруд, де збиток від аварій у багатьох випадках оцінюється вартістю відновлення зруйнованих частин самої споруди, збиток від аварії підпірної гідроспоруди зазвичай у багато разів перевищує її вартість. Це пояснюється тим, що, крім людських жертв, руйнуються й інші споруди на річці та її берегах, паралізується діяльність підприємств цілих районів, які базувались на території даної ГТС, а її відновлення вимагає зазвичай ряду років. Ця обставина змушує вважати гідроспоруди досить важливими, проектування, будівництво і експлуатація яких вимагає виняткової уваги [2].

За даними Міжнародної комісії з великих гребель, із 36235 гребель, що експлуатуються в країнах-членах СІГБ¹, на 1105 з них були зафіксовані аварії [3]. Вартість ремонту тільки однієї арочної греблі Кьольнбрунн в Австрії у 1985-1991 рр. склала 191 млн. дол.

Із 36,2 тис. існуючих високих гребель, що експлуатуються на даний час, 6,3 тис. є бетонними або кам'яними (17,4% від загальної кількості), а 29,9 тис. – земляними. Із вказаних вище 1105 аварій число аварій бетонних гребель складає 380 (34,4% від загальної кількості), земляних – 664.

Гідротехнічні об'єкти можуть бути джерелом загрози не тільки з причини їх безпосереднього руйнування. Наприклад, через кілька років після закінчення будівництва висотної греблі та заповнення водою водосховища «Вайонт» в Італії, 9 жовтня 1963 р. 240 млн. куб. м крейдових порід відірвалися від гори Струм і змістилися у водосховище. Лише 15 сек. знадобилося для повного заповнення ґрунтом чаші водосховища, виверження води на протилежний схил на висоту 260 і 100 м над греблею. Гребля залишилася стояти, але число загиблих у катастрофі склало 3 тис. чол. та внаслідок затоплення зруйновано м. Лонжерон.

Гідроенергетичну галузь країни представлено 7 великими ГЕС (6 на р.Дніпрі, 1 на р.Дністерці), Київською ГАЕС та близько 50 малими працюючими ГЕС. Окрім того, в Україні нараховується понад 1,1 тис. водосховищ, 28 тис. ставків, 7 великих каналів та 10 великих водоводів у водозабірних басейнах рр. Дніпра, Дністра, Дунаю, Сіверського Дінця, Південного і Західного Бугу, а також малих річок Приазов'я та Причорномор'я, що дає підстави прогнозування реальної загрози виникнення гідродинамічних ускладнень або надзвичайних ситуацій.

Чинниками гідродинамічної загрози (порушення стану ГТС) можуть бути як техногенні (наприклад, руйнування дамб через зменшення їх міцності), так і гідрометеорологічні фактори (сильні зливи, паводки). Станом на 2010 р. основним чинником гідродинамічної загрози залишався стан гідротехнічних споруд - гребель, дамб, шлюзів, тобто інженерних споруд, за допомогою яких створені та утримуються певні об'єми води.

¹Міжнародна комісія з великих гребель (Societe International grand barrage)

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

Наразі Державним агентством з водних ресурсів для запобігання аваріям, катастрофам, надзвичайним ситуаціям та реагування на них затверджено перелік потенційно небезпечних об'єктів, який налічує 231 об'єкт, що знаходиться на балансі водогосподарських організацій [4].

Згідно з Державними будівельними нормами України (ДБН В.1.2-14) ГТС, залежно від соціально-економічної відповідальності і наслідків можливих гідродинамічних аварій, поділяють на 4 класи наслідків (відповідальності): СС3, СС2 (у свою чергу поділяється на 2 підкласи: СС2-1, СС2-2) та СС1. За умови, що ймовірності виникнення аварій на спорудах для напірних ГТС всіх класів наслідків (відповідальності) не повинні перевищувати допустимі значення (див. табл.2.4)[5].

Задля визначення класу (підкласу) наслідків (відповідальності) споруд здійснено порівняльний аналіз математичних методів оцінки стану гідроспоруд в період їх експлуатації, що можуть застосовуватися при складанні декларацій безпеки ГТС, а також при здійсненні обстежень ГТС у відповідності з нормами, визначеними ДБН В.1.2-14 [5].

Одним із визнаних підходів аналізу ГТС як складної системи є діагностування, або пошук причин порушень і відхилень у їх роботі, який зазвичай проводиться експертами. У нашому випадку суть проблеми діагностування полягає у пошуку найбільш ефективного способу виявлення причин порушення у роботі системи з тим, щоб зменшити витрати, необхідні для дослідження, і витрати, пов'язані з усуненням наслідків порушення функціонування ГТС.

1. Ймовірнісний підхід

Математичну модель діагностування, яка за своїм характером є алгоритмічною, одними з перших запропонували Ледлі і Ластед. На їх думку, невід'ємною частиною будь-якої діагностичної процедури є математичні методи символічної логіки, теорії ймовірностей та теорії корисності. Методи теорії корисності пов'язані зі стратегічним планом, який Ледлі і Ластед характеризують як ведення гри проти природи [7, 8]. Спираючись на цю модель, Ледлі і Ластед запропонували схему розрахунків з використанням бінарного кодування і алгебри логіки (булевої алгебри). Основна частина схеми полягає у побудові матриці «комплекси параметрів - комплекси факторів», де логічна одиниця означає наявність параметру, а логічний нуль - його відсутність (табл. 1).

Для проблеми, що розглядається, множина параметрів може включати в себе метеорологічні умови, антропогенні фактори, конструктивні дефекти, штучні ушкодження тощо. До множини факторів можна віднести руйнування дамб, зменшення їх міцності, прорив дамб тощо.

Зауважимо, що факт відсутності певного параметру так само важливий для прогнозу, як і його наявність. Кінцевим результатом є матриця, що описує всі можливі комбінації параметрів і факторів.

Таблиця 1

Комплекси параметрів та факторів [6]

Номер стовпчика	Комплекси параметрів s'															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Верхній індекс i	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
$S(1)$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$S(2)$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
$D(1)$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
$D(2)$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Комплекси факторів d_j	d_0				d_1				d_2				d_3			
Комплекс параметрів та факторів	$C_0^0 C_1^1 C_2^2 C_3^3$				$C_1^0 C_1^1 C_2^2 C_3^3$				$C_2^0 C_2^1 C_2^2 C_3^3$				$C_3^0 C_3^1 C_3^2 C_3^3$			

Порядок, або ранг, цієї матриці можна зменшити, виключивши ті комбінації, існування яких ніколи не спостерігалось. Поряд зі зменшенням числа можливих комбінацій проводяться відповідні перевірки до тих пір, поки не буде виявлено однозначну причину прояву несприятливих факторів (табл. 2).

Таблиця 2

Усічений базис комплексів параметрів та факторів [6]

Номер стовпчика	1	2	3	4	5	6	7
Комплекс параметрів	S^1	S^2	S^3	S^4	S^5	S^6	S^7
(Окремі параметри) $S(1)$	1	0	1	0	1	0	1
$S(2)$	0	1	1	1	1	1	1
(Окремі фактори) $D(1)$	1	1	1	0	0	1	1
$D(2)$	0	0	0	1	1	1	1
(Комплекс факторів)		d_1		d_2		d_3	

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

Наведені вище логічні операції можуть бути успішно застосовані до вивчення проблеми діагностування. У табл. 2 як приклад наведено 16 комплексів, або комбінацій, параметрів та факторів. Номери стовпчиків відповідають цим комбінаціям. Верхній індекс i вказує на чотири можливі комбінації параметрів. До кожної такої комбінації входить або перший параметр $S(1)$, або другий параметр $S(2)$, або обидва разом $S(1)$ і $S(2)$. Нижній індекс j вказує на чотири можливі комбінації відхилень системи або причин цих відхилень. До кожної такої комбінації входить або $D(1)$, або $D(2)$, або $D(1)$ і $D(2)$. Комплекси параметрів позначені через s^i , а комплекси факторів - через d_j .

Дана модель представляє інтерес, оскільки в ній міститься ряд основних елементів, включених до діагностичних комп'ютерних моделей ЕОМ. Логічна побудова матриці комплексу параметрів заснована на побудові дерева рішень, кожна гілка якого відповідає одному відхиленню системи і пов'язаній з ним комбінації параметрів.

У багатьох випадках, щоб однозначно визначити наслідки, слід скористатися методами статистики. Так, ймовірнісний підхід заснований на визначенні ймовірностей параметрів s^i та факторів d_j , а відтак, умовних ймовірностей: $P(s^i/d_j)$ та $P(d_j/s^i)$. Ними можна скористатися для визначення можливих наслідків.

Логічніше приступати до вирішення проблеми діагностування, оперуючи величинами $P(d_j/s^i)$ [6]. У цьому випадку за умови, що комплекси параметрів вивчені, експерт міг би порівняти комплекси факторів та обрати серед них той, ймовірність появи якого найбільша. Проте там, де в основному застосовується діагностування, використовується величина $P(s^i/d_j)$, а не $P(d_j/s^i)$. Запереченням проти використання останньої величини є те, що вона більше, ніж перша, змінюється від «плину часу та місця проведення експерименту. Величина $P(d_j/s^i)$ залежить від характеристик вибірки, що використовується для подальшої обробки [6]. Незначна зміна комплексу факторів певного виду з часом може значно змінити загальну картину». З іншого боку, $P(s^i/d_j)$ «практично не залежить від вибірки об'єктів, а визначається інформацією про параметри та фактори» [8].

Перевага використання величини $P(d_j/s^i)$ полягає в тому, що експерт може продовжити коригування ймовірності з урахуванням отриманої інформації. Це «коригування» засноване на добре відомій теоремі Байєса, яка може бути сформульована наступним чином:

$$P(d_j/s^i) = \frac{P(d_j)P(s^i/d_j)}{\sum_j P(d_j)P(s^i/d_j)},$$

де $P(s^i/d_j)$ - відома множина умовних, або «ап'юріорних», ймовірностей. Побудова цієї множини базується на постійному співвідношенні між комплексами параметрів

та комплексами факторів; $P(d_j)$ - нова інформація, отримана в результаті експерименту з поточної вибірки об'єктів;

$\sum_j P(d_j)P(s^i/d_j)$ - сума за всіма j добутками наведених величин, а $P(d_j/s^i)$ -

нова множина умовних, або «апостеріорних», ймовірностей.

Якщо надходить нова інформація, отримана у результаті додаткових експериментів, то апостеріорні ймовірності можуть знову змінитися. Якщо знову застосувати теорему Байєса, то множина апостеріорних ймовірностей стає новою множиною апіорних ймовірностей і т. д.

2. Автоматизована діагностична система Байєса

Автоматизована система, в якій використовується підхід Байєса, була розроблена Горі [9]. У даній моделі особлива увага приділяється перевіряючим стратегіям. Крім того, у процесі прийняття рішень вводиться функція втрат. На думку Горі і Барнета [9], у діагностиці існують дві основні функції - функція виводу і функція критерію вибору.

По суті, будь-яка модель повинна передбачати взаємозв'язок між обома цими функціями.

На початковому етапі оцінка стану системи здійснюється на основі даних закінченого діагностичного експерименту і виявлених нових властивостей чи параметрів. При цьому використовується функція виводу, заснована на формулі Байєса. У кожній вершині дерева рішень функція критерію вибору ранжує можливі варіанти рішень. Критерій рішення, що використовується для розв'язання задачі, базується на мінімізації очікуваних втрат, де останні визначаються як сума втрат, пов'язаних з невірним рішенням і з проведенням подальшого дослідження. Якщо можна провести аналіз, для якого очікувані втрати через помилкове рішення плюс втрати, необхідні на проведення цього аналізу, менші, ніж очікувані втрати внаслідок помилкового рішення, що мають місце до проведення цього аналізу, то дослідження буде продовжено далі. При такому підході до процесу прийняття рішень головним чином враховуються втрати, що виникають через помилки. Свої основні положення Горі формулює наступним чином.

Оскільки через прийняття невірного рішення можливі втрати, важливим є широке дослідження, проведене перед прийняттям будь-якого рішення. Завдання полягає у тому, щоб урівноважуючи витрати, пов'язані з проведенням дослідження, та витрати через прийняття невірного рішення, побудувати послідовну функцію рішень. Ця функція дозволила б описати таку діагностичну процедуру, що сумарні очікувані втрати, пов'язані з неточністю остаточного рішення, були б мінімальними [10].

Даний підхід до проблеми діагностування є кількісним та може бути використаний для розрахунку допустимих значень ймовірностей виникнення

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

аварій на напірних ГТС різних класів наслідків, розрахунку ймовірності перевищення розрахункових максимальних витрат води на даних об'єктах та коефіцієнтів надійності за навантаженням.

3. Теорія нечітких множин у діагностуванні систем

При вивченні ряду питань, що стосуються діагностичного процесу, можна використовувати прикладні методи теорії нечітких множин.

Як уже зазначалося, при описанні діагностичної моделі можна скористатися бінарною системою числення. Подання інформації у бінарній системі числення відображає той факт, що всі думки строго поділяються на істинні та хибні і ніяких проміжних варіантів не допускається. Сучасна точка зору щодо даного питання полягає в тому, що знання експерта відносно тих ознак, що характеризують відмінності нормального і аномального станів системи чи підтверджують наявність або відсутність параметрів, можуть бути неточними.

У деяких випадках буває важко визначити точно, чи є спостережні ознаки параметрами чи ні. Наприклад, для медичних досліджень Х. Конн і Р. Конн стверджують, що «для більшості спостережень не існує строгої границі між нормальним і патологічним станом. Чим більше результати вимірювань відрізняються від звичайних результатів, тим більше ми впевнені у тому, що має місце патологія» [11].

Ластед [12] вказує на можливість неоднозначності таких перехідних областей. Результатом цього стало включення до формули Байєса суб'єктивної ймовірнісної оцінки норми та аномалії у спостереженні. Проте у більшості моделей беззастережно передбачається, що границі є строго визначені.

Вважається, що на оцінку нормального (або аномального) стану впливає існуюче відхилення. Ледлі [13] передбачає це, коли пропонує розділити континуум на інтервали і розглядати кожен інтервал як окрему бінарну змінну (що означає наявність або відсутність параметру).

У кожному випадку проводиться суб'єктивна оцінка перехідних областей того типу, який може бути описаний функціями належності, що мають відношення до теорії нечітких множин. Нагадаємо, що функція належності використовується для опису нечіткої границі чи перехідної області від множини нормальних значень змінної, які вона приймає за відсутності параметра, до множини аномальних значень тієї ж змінної, які вона приймає за наявності параметра. На рис. 1 показано, як виглядає функція належності, коли перехідна область від нормального до аномального стану є чіткою. На рис. 2 зображені функції належності, що описують перехідну область для двох різних відхилень d_j і d_k . Оцінка функцій належності завжди є суб'єктивною. Саме тому отримують різні функції у тих випадках, коли двоє намагаються описати перехідну область для

одного й того самого відхилення. Іншими словами, одну й ту саму множину значень змінної V_i дві різні людини різним чином розбівають на області нормальних і аномальних значень. Форма і розміри перехідних областей залежать від функції належності.

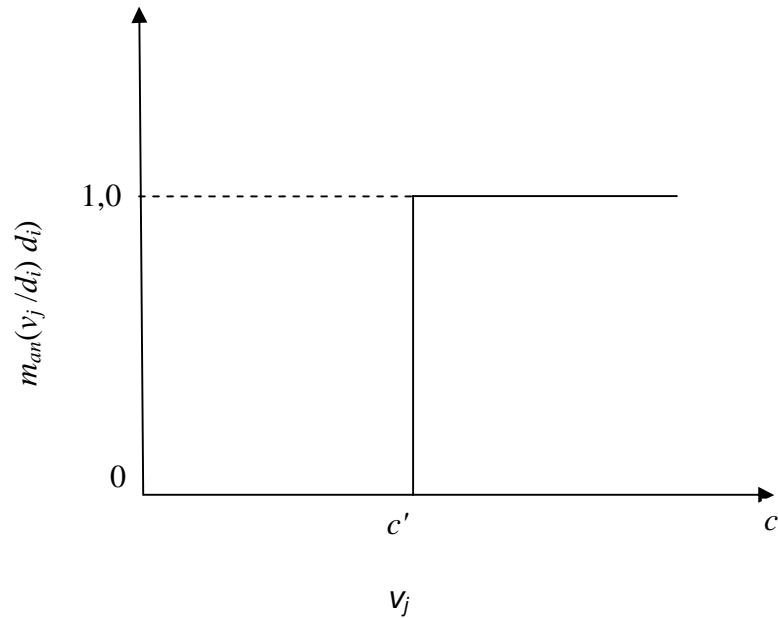


Рис. 1. Функція належності для чіткого переходу від нормального до аномального стану [14]

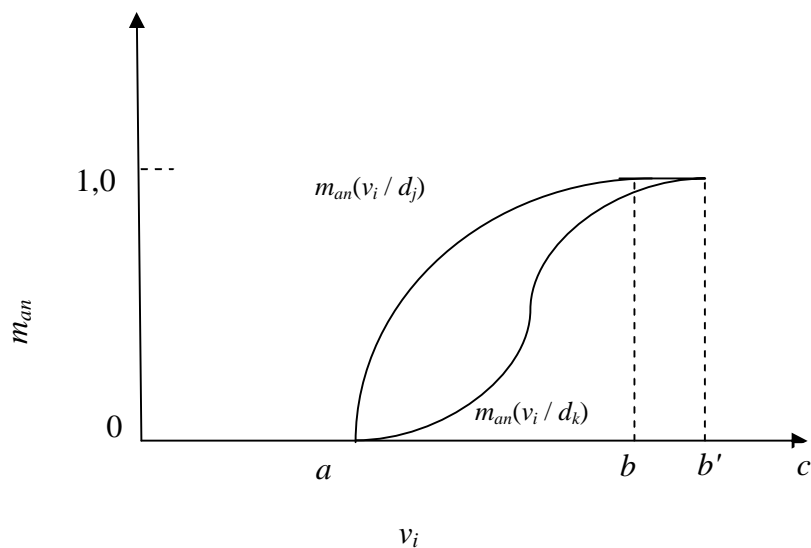


Рис. 2. Функції належності, що описують нечітку перехідну область від нормального до аномального стану для двох різних відхилень [14]

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

Передбачається, що істотні ознаки мають непостійний ступінь значимості або важливості при діагностуванні різних відхилень. Тому необхідно додатково дослідити значимість ознак. Крім того, необхідно дослідити, чи є істотним той факт, що ознака відсутня. Міра ступеня значимості називається *важливістю змінної*.

Кожна системна змінна V_i має різний ступінь важливості для визначення кожного відхилення d_j . Ця залежність може бути описана за допомогою функції належності $\alpha_{ij} = \alpha(V_i, d_j)$, яка приймає значення в інтервалі $[0,1]$. Дана функція характеризує ступінь важливості i -ї змінної по відношенню до j -го відхилення. Вона показує, наскільки важливою є залежність між i -ю змінною та j -м відхиленням. Слід зазначити, що залежність визначається не просто між симптомом і невпорядкованістю, а між змінною та невпорядкованістю. Ці два види залежності мають важливу відмінність: в останньому випадку при розв'язанні проблеми виявлення невпорядкованості вдається скористатися відсутністю істотного симптому.

Поява теорії нечітких множин та її використання у діагностиці при побудові концептуальної основи та пошуку рішень значно вплинули на розвиток теорії прийняття рішень і методів дослідження, зокрема, на їх зв'язок з усіма проблемами, що існують у суспільних науках. Теорія нечітких множин добре підходить для вивчення «м'яких» систем, де внаслідок суб'єктивних оцінок границі піддаються змінам, а перехідні області є невизначеними.

Даний підхід можна віднести до якісної методики, який може бути застосований для класифікації гідротехнічних об'єктів, тобто віднесення їх до певного класу наслідків, згідно з параметрами ДБН.

4. Діагностування як розпізнавання образів

Діагностичний процес можна розглядати у більш широкому сенсі, тобто як процедуру розпізнавання образів, за допомогою якої «робиться спроба встановити взаємозв'язок між образом системи, або вектором її характеристик (параметрів), і певним станом системи (порушеннями у роботі та причинами порушень)» [15]. Як показав Горі, між проблемами діагностування та розпізнавання образів є і схожість, і відмінність [16]. У класичній теорії розпізнавання образів задача полягає у тому, щоб «встановити факт належності класу та підібрати вирішальний критерій для вимірювання у кожному класі. Окремі класи образів можна розпізнати різними методами - від побудови множини характерних образів до визначення функціональної характеристики ймовірнісного процесу, що породив образи класу» [16]. Необхідно розробити процедури, що дозволяють визначити, наскільки подібні або відмінні характерні властивості образів і тих класів, факт належності до яких встановлюється. Поняття діагнозу можна тлумачити як вибір такого стану системи

із сукупності її станів, який відповідає певній множині властивостей, притаманних даній системі. Такий вибір дещо подібний до процедури визначення ступеня подібності між властивостями досліджуваного образу та властивостями розпізнаних класів образів. Діагностування відрізняється від розпізнавання образів тим, що у цьому випадку властивості класів можуть бути не повністю визначені на момент встановлення належності до певного класу. Щоб більш повно виявити характерні особливості комплексів причин, потрібні додаткові дослідження. Таким чином, розпізнавання класу та розподіл образів за класами можуть проводитися одночасно [16].

Петрік та ін. [17] визначають *систему* на основі теорії розпізнавання образів, за допомогою якої її можна розділити на *підсистеми*, наприклад, у медицині, на системи органів або класифікаційні системи захворювань. Кожна підсистема утворює об'єкт класів, які у свою чергу можуть бути пов'язані з підмножиною *властивостей* та підмножиною *вимірювань*.

Мета такої моделі взаємодії полягає у тому, щоб знайти взаємозв'язок між результатами вимірювань та властивостями, а також між класом і властивостями. Такий взаємозв'язок дозволить розпізнавати конкретні класи. Дана модель є настільки загальною, що всі відомі діагностичні моделі описуються за допомогою визначених вище характеристик. Петрік та ін. з'єднали воедино різні підходи, що використовувались у автоматизованому процесі консультування та прийняття рішень у медицині [17]. Вони висловили жаль з приводу того, що донині «не було зроблено спроби вивчити взаємозв'язок між існуючими підходами та розробити уніфікований підхід».

Даний вид діагностування також є якісним методом та може бути використаний для системи моніторингу технічного стану ГТС, уточнення класів їх наслідків (відповідальності).

5. Кластерний аналіз як метод контролю надійності елементів

Як бачимо, теорія діагностування є одним із напрямків розвитку методів контролю надійності елементів системи (або систем), що базуються на дослідженні неявних параметрів. При цьому, розглядаються прийоми і методи, що дозволяють за деякими (іноді досить незначними) ознаками відносити об'єкт вивчення до того чи іншого класу і характеризувати його стан.

Прикладом такого методу є кластерний аналіз - математична процедура багатомірного аналізу, що дозволяє на основі множини показників, які характеризують стани об'єктів (образів), згрупувати їх в класи (кластери) таким чином, щоб об'єкти, які належать до одного класу (образу), були більш однорідними, подібними порівняно з об'єктами, що входять до інших класів. На основі чисельно виражених параметрів об'єктів обчислюються відстані між ними,

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

які представляються як в евклідовій метриці (найбільш поширеній), так і в інших метриках.

Кластерний аналіз застосовують для ідентифікації небезпечних станів системи у випадках, коли порушення в об'єкті істотно змінюють залежності вихідних змінних від вхідних дій або областей значень змінних.

Виявлення та діагностування порушень при кластерному аналізі проводять на основі ідентифікації деякого образу - кластеру - у просторі декількох змінних y_1, y_2, \dots, y_L , що відповідає певному стану працездатності h , за даними вимірювання цих змінних. Приклади трьох кластерів в області вимірюваних значень y_1 та y_2 для станів працездатності h_0, h_1, h_2 наведені на рис. 3. Границі кластерів визначають на основі обробки експериментальних даних, отриманих у різних станах працездатності. Виділення кластерів відображає різницю параметрів або виду оператора φ моделі об'єкта при різних станах працездатності, діапазон значень у в одному стані працездатності характеризує зміну збурень.

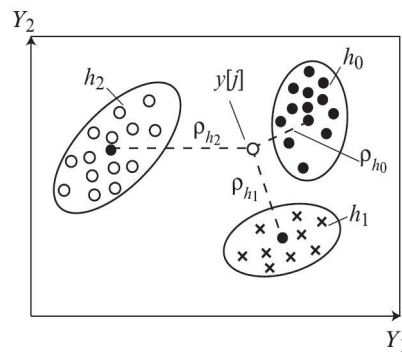


Рис. 3. Кластери у просторі двох змінних для трьох станів працездатності

Кожному кластеру відповідає багатовимірна щільність розподілу $p(y_1, y_2, \dots, y_L)$. Якщо вимірювані змінні незалежні, то функція $p(y_1, y_2, \dots, y_L)$ дорівнює добутку щільності розподілів $p(y_i)$ змінних $y_i, i = \overline{1, L}$:

$$p(y_1, y_2, \dots, y_L) = kp(y_1)p(y_2)\dots p(y_L),$$

де k - частка загальної сукупності точок, що займає даний кластер, $k \in [0; 1]$.

Щоб охарактеризувати кластер за експериментальними даними, у простому випадку оцінюють параметри розподілу математичного очікування m_i , середнього квадратичного відхилення σ_i змінної $y_i, i = \overline{1, L}$, що відповідають одному стану працездатності, а отже, і кластеру, визначають його границю як границю області з призначеною довірчою ймовірністю. Якщо змінні y_i незалежні та розподілені за нормальним законом, то головні осі кластерів розташовані паралельно координатним осям.

Порушення методами кластерного аналізу виявляють наступним чином. У момент часу t_j проводять чергове j -е вимірювання вектора $y[j] = (y_1[j], \dots, y_L[j])$. На основі взаємного розташування точки $y[j]$ кластерів у L -мірному просторі визначають стан працездатності $h[j]$ у момент часу t_j . Рішення приймають на основі обчислення узагальненої відстані від точки $y[j]$ до центрів кластерів. У випадку незалежності змінних і нормальних розподілів узагальнену відстань ρ_h до h -го кластеру визначають за формулою:

$$\rho_h = \left(\sum_{i=1}^L \left(\frac{y_i[j] - m_i^h}{\sigma_i^h} \right)^2 \right)^{1/2},$$

де $y[h]$ – значення компоненти у вектора $y[j]$;

m_i^h, σ_i^h - параметри розподілу $\rho_h(y_1, \dots, y_L)$ кластеру, що відповідає стану h об'єкту.

Точка $y[j]$ належить тому кластеру, для якого відстань ρ_h мінімальна.

Можна також використовувати модифіковану узагальнену відстань ρ_h'' , яка враховує фактор k та визначається формулою:

$$\rho_h'' = \sqrt{\rho_h^2 - 2 \ln k_h}, \quad k_h' = \frac{k_h}{\sigma_1^h \sigma_2^h \dots \sigma_L^h (2\pi)^{L/2}},$$

де k_h – фактор k для кластеру, що відповідає стану h .

У ряду випадків простір значень вектора y містить певний кластер. Залежно від того, до якого сектору належить точка $y[j]$, робиться висновок про належність її до відповідного кластеру, а отже, про те, який стан працездатності та порушення має місце у спостережний період часу. Класифікаційні (розподільні) лінії або функції, що ділять область спостережних значень y на частини, які відповідають різним станам працездатності, визначають методами дискримінаційного аналізу та розпізнавання образів, наприклад, методами випадкових площин, потенціальних функцій, що реалізуються на комп'ютері.

Даний підхід також належить до класу якісних моделей дослідження та згідно з теорією нечітких множин дозволяє створювати алгоритми системи запобігання аваріям, за допомогою яких на основі інформації зі значною невизначеністю, нечітких дій і команд операторів визначають аварійну обстановку і виконують необхідні захисні дії [18].

Висновки

У роботі проведено аналіз методів оцінки стану гідроспоруд. Основним підходом до дослідження було обрано діагностування складних технічних систем.

У рамках цього підходу було розглянуто п'ять математичних методів

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

дослідження, два з яких є кількісними методами (ймовірнісний підхід та автоматизована діагностична система Байєса), які дозволяють отримати ймовірнісні оцінки виникнення аварій на гідропоруках різних класів наслідків, розрахункові значення ймовірності перевищення максимальних витрат води на даних об'єктах та коефіцієнти надійності за навантаженням. Інші три методи з розглянутих (теорія нечітких множин, розпізнавання образів та кластерний аналіз) можна віднести до класу якісних моделей, які, в свою чергу, можуть бути застосовані до класифікації станів об'єктів гідротехнічного призначення та прилеглих територій, а також моніторингу складних систем, до яких належить і система ГТС.

При діагностуванні та оцінці стану ГТС України серед заходів, що дозволяють запобігти та мінімізувати прояв несприятливих процесів (гідродинамічних надзвичайних ситуацій), необхідно виділити наступні:

- контроль за дотриманням встановленого режиму експлуатації;
- удосконалення інструментального обстеження основної частини механічного обладнання ГТС на основі комп'ютеризованих діагностичних систем;
- систематична реконструкція та переоснащення основного обладнання ГТС з урахуванням сучасних технологій;
- додаткові дослідження геолого-структурних умов і проведення сейсмічного мікрорайонування майданчиків розміщення великих об'єктів гідроенергетики, зокрема Дністровської, Каховської та Канівської ГЕС;
- систематичні ремонтно-відновлювальні роботи;
- проведення регулярних експертиз стосовно безпеки ГТС;
- розроблення запобіжних заходів щодо покращення стану споруд;
- удосконалення підготовки працівників та фахівців до дій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру на ГТС;
- відпрацювання взаємодії органів управління, сил та засобів місцевих органів влади, які входять у підсистему єдиної державної системи цивільного захисту з підприємствами і установами;
- доведення до норм і відповідної номенклатури аварійного запасу матеріалів та устаткування для проведення аварійно-відновлювальних робіт на електричних мережах.

Застосування діагностичної процедури як способу дослідження складних технічних систем, дозволяє класифікувати результати спостережень, розрахунків та системного підходу, які послідовно застосовуються на стадіях дослідження, для комплексної оцінки стану складної систем (зокрема, об'єктів гідротехнічного будівництва).

1. Калустян Э.С. Статистика и причины аварий плотин/Э.С. Калустян // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - №3. – 1997 г. – С.40-50.
2. Бисвас А. К. Человек и вода. – 1.: Гидрометеоздат, 1975. – 288 с.
3. Deterioration of dams and reservoirs. Balkema, 1984.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 р. – К. : МНС України, 2011. – 225 с.
5. Гідротехнічні споруди. Основні положення. ДБН В.2.4-3:2010. – Державні будівельні норми України. – К., Мінрегіонбуд України, 2010. – 37 с.
6. Дж. ван Гиг. Прикладная общая теория систем в 2-х томах. Том 2. - М.: Мир, 1981. – 730 с.
7. Ledley R. S., Lusted L. B., Reasoning Foundations of Medical Diagnosis, *Science*, **130**, P. 9 - 22.
8. Ledley R. S., Lusted L. B., The Use of Electronic Computers to Aid in Medical Diagnosis, *Proceedings of IRE*, 47 1970—1977 (November 1959).
9. Gorry G. A., A System for Computer-Aided Diagnosis Project MAC Report MAC-TR-44 (Thesis), MIT Press, Cambridge, Mass., 1967; Gorry G. A., Barnett G. O., Experiences with a Model of Sequential Diagnosis, *Computers and Biomedical Research*, **1**, P.490-507; Gorry G. A., Barnett G. O., Sequential Diagnosis by Computer, *Journal of American Medical Association*, **205**, P. 849-854.
10. Gorry G. A., див. п.9, с.35.
11. Conn H. F., Conn R. B. (eds.), *Current Diagnosis*, 3, Philadelphia, Saunders, 1971, p. 4.
12. Ластед Л. Б. Введение в проблему принятия решений в медицине. – М.: Мир, 1971. – 282 с.
13. Ledley R. S., Problems in the Use of Computers in Medical Diagnosis, *Proceedings of the IEEE*, **57**, 1906 (November 1969).
14. Pipino L. L., The Application of Fuzzy Sets to System Diagnosis and the Design of a Conceptual Diagnostic Procedure, University of Massachusetts Amherst. Mass., Doctoral Dissertation, 1975.
15. Див. п.9, с.21.
16. Gorry G. A., див. п.9, с.24-31.
17. Patrick E. A., Stelmack F. P., Shen L. Y., Review of Pattern Recognition in Medical Diagnosis and Consulting Relative to a New System Model, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **SMC-4**, 1, P. 1-16.
18. Акимов В. А., Лапин В.Л., Попов В. М. и др. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 368 с.

Отримано: 14.05.2012 р.