

Техніко-економічне обґрунтування допустимих рівнів надійності для гідромеліоративних споруд

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.016>

Людмила Токар

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
l.o.tokar@nuwm.edu.ua

Ілона Панасюк

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
panasiuk_vg23@nuwm.edu.ua

Анотація – Проведено аналіз класифікації гідромеліоративних гідротехнічних споруд за двома ключовими критеріями: класом капітальності та класом наслідків (відповідальності). Запропоновано значення допустимих рівнів надійності для гідромеліоративних споруд залежно від класу капітальності та класів наслідків (відповідальності).

Ключові слова — гідромеліоративна система, гідротехнічна споруда, клас споруди, коефіцієнт надійності, рівень надійності.

Процес проектування гідромеліоративної системи охоплює вибір структурної схеми, кількісного складу елементів, конструктивних рішень, будівельних технологій і експлуатаційних принципів. Ключовим завданням проектування є забезпечення необхідного рівня надійності, оскільки його відсутність унеможливує ефективну експлуатацію системи.

При розробці технічних систем, зокрема гідромеліоративних, критерії економічної ефективності, надійності та якості доцільно представляти у вигляді системи цільових функцій [1]

$$\left. \begin{aligned} PЗ &= E_H K + C_E \rightarrow \min; \\ P(t) &\geq P_{Д\min}; \\ P_J &\geq P_{J\min} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де перший вираз системи – загальні приведені затрати; другий – характеризує надійність об'єктів; третій – якість об'єкта;

E_H - нормативний коефіцієнт порівнювальної економічної ефективності;

K - капіталовкладення на будівництво об'єкта;

C_E - приведені річні експлуатаційні затрати для порівнювального варіанта;

$P(t)$ - показник надійності об'єкта;

$P_{Д\min}$ - мінімальний допустимий показник надійності об'єкта (системи) який забезпечує його окупність протягом нормативного строку T_H .

P_J - показник якості об'єкта;

$P_{J\min}$ - допустимий мінімальний показник якості, який забезпечує ефективне використання об'єкта (системи).

Виконання умови $P(t) \geq P_{Д\min}$ часто досягається

через резервування елементів, що, однак, збільшує капітальні вкладення та експлуатаційні витрати на профілактичне обслуговування резервних агрегатів. З огляду на це, при оцінюванні ефективності об'єктів важливо привести всі затрати до рівноцінних обсягів роботи. Якщо корисні результати варіантів ідентичні, то різниця в їхній ефективності зводиться виключно до відмінностей у затратах, необхідних для виконання заданої роботи.

Зважаючи на ймовірнісний характер порівнюваних обсягів робіт, для визначення прямих затрат доцільно застосовувати відповідний вираз [1]:

$$\frac{1}{K_{PP}} (E_H K + C_E) \rightarrow \min \quad (2)$$

де K_{PP} - коефіцієнт зведення обсягів робіт до імовірнісних обсягів:

$$K_{PP} = A \cdot P(t) \quad (3)$$

де A – обсяг робіт імовірність отримання якого $P(t)$

Співвідношення (2) є показником фізичного мінімуму, що демонструє пошук найекономічнішого рішення за критерієм затрат відносно інших порівнюваних варіантів.

На сучасному етапі проектування гідромеліоративних систем здійснюється переважно на основі детерміністичних моделей, які враховують практичний накопичений досвід через застосування

коєфіцієнтів запасу. При цьому чинні норми не встановлюють кількісних критеріїв надійності для об'єктів чи систем. Відповідно до норм [2], надійність споруд корелюється з їхнім класом капітальності, який, своєю чергою, залежить від площі, що обслуговується.

Класифікація гідротехнічних споруд за класами наслідків (відповідальності) ґрунтується на оцінці їхньої соціально-економічної відповідальності та масштабу ймовірних гідродинамічних аварій.

Відповідно до класу наслідків (відповідальності) споруд, категорії відповідальності конструкції та її елементів і групи граничних станів визначаються відповідні значення коефіцієнтів надійності [3,4].

Як видно з умови граничного стану (2, 3), коефіцієнт надійності за своєю суттю є коефіцієнтом запасу, який залишається незмінним протягом усього терміну експлуатації споруди.

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{R}{k_H} \quad (4)$$

де $\gamma_{lc} = 0,8 \dots 1,0$ – коефіцієнт сполучення навантажень;

F – розрахункове значення узагальненого силового впливу;

R – розрахункове значення узагальненої несучої здатності споруд.

Таким чином, використовуючи коефіцієнт k_H

можна змінити масу споруди, поперечний розмір та інші параметри, розміри яких визначені із умови граничного стану $k_H = 1,0$.

Зважаючи на залежність процесу зниження надійності гідромеліоративних об'єктів від множини стохастичних факторів, оцінювання надійності цих споруд вимагає заміни детерміністичних моделей на ймовірнісні.

У теорії надійності технічні системи оцінюються показниками, які не лише мають певне значення, але й часто змінюються з часом (наприклад, ймовірність безвідмовної роботи або коефіцієнт оперативної готовності).

Ц.С.Мірцхулава в першому наближенні запропонував встановлювати мінімально допустимі рівні надійності для споруд і елементів гідромеліоративних систем, диференційовано залежно від важливості об'єкта та наслідків його можливої відмови [5, 6].

У такому випадку, коефіцієнт надійності можна розглядати як показник збільшення рівня надійності, тобто ймовірності безвідмовної роботи у порівняно з базовим (початковим) значенням рівнем надійності. Функціональну залежність в околі не критичної точки можна апроксимувати лінійною функцією. Виходячи з цього, зв'язок між коефіцієнтами надійності k_H і допустимими рівнями надійності

P_D споруд наближено можна записати [1]

$$\frac{P_{Di}}{P_{Dmin}} = \frac{k_{Hi}}{k_{Hmin}} \quad (5)$$

Для споруд класу наслідків СС3 прийнято $P_{D1} = 0,9999$, $k_{H1} = 1,25$, а $k_{Hmin} = 1,0$ тоді за формулою

$$(5) P_{Dmin} = 0,80 \quad [3-6].$$

Використовуючи $P_{Dmin} = 0,80$ за формулою (5),

отримано допустимі рівні надійності для споруд відповідних класів капітальності табл. 1.

TABLE 1. ЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМОГО РІВНЯ НАДІЙНОСТІ P_D І КОЕФІЦІЄНТІВ ЗАПАСУ k_H ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ВІДПОВІДНО ДО КЛАСУ КАПІТАЛЬНОСТІ ТА КЛАСУ НАСЛІДКІВ (ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ)

Класи капітальності споруд	Класи і підкласи наслідків (відповідальності) споруд	Категорії відповідальності конструкції та її елементів	Коефіцієнти надійності, k_H	P_D за формулою (5)	P_D , яке пропонується [5,6]
I	СС3	A	1,250	0,9999	0,9999
		Б	1,200	0,960	
		В	1,150	0,920	
II	СС2-1	A	1,200	0,960	0,990
		Б	1,150	0,920	
		В	1,100	0,880	
III	СС2-2	A	1,150	0,920	0,950
		Б	1,100	0,880	
		В	1,000	0,800	
IV	СС1	A	1,100	0,880	0,900
		Б	0,975	0,780	
		В	0,950	0,760	

Враховуючи існуючу класифікацію гідромеліоративних споруд [1-6] і результати табл. 1, допустимі рівні надійності можна призначити у межах (табл. 2).

TABLE 2. ЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ РІВНІВ НАДІЙНОСТІ P_D ДЛЯ ГІДРОМЕЛІОРАТИВНИХ СПОРУД ЗАЛЕЖНО ВІД КЛАСУ КАПІТАЛЬНОСТІ ТА КЛАСІВ НАСЛІДКІВ (ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ)

Площа F , тис.га., яка обслуговується спорудою, характеристика споруди	Класи капітальності споруд	Класи і підкласи наслідків (відповідальності) споруд	Розрахункове значення P_D
>300	I	СС3	0,92...0,999
100...300	II	СС2-1	0,88...0,99
50...100	III	СС2-2	0,80...0,95
≤ 50	IV	СС1	0,76...0,90

Для споруд гідромеліоративних систем не наведено рекомендацій щодо розподілу конструкцій за категоріями відповідальності відповідно до класів наслідків, тому їх віднесено до категорії Б [4].

Оскільки найважливішим етапом створення надійних і ефективних об'єктів і систем є етап проектування, то доповнення детерміністичних методів розрахунків ймовірнісними моделями дозволяє проектувати споруди з призначеним рівнем

безвідмовності, виконувати оцінку безвідмовності споруди на протязі часу дії розрахункових навантажень, уникнути невиправданих затрат на будівництво споруд і можливих збитків, що зумовлюються відмовами споруд.

- [1] І.І. Надійність споруд гідромеліоративних систем / навчальний посібник. К.: ІСДО, 1994. 424 с.
- [2] ДБН В. 2.4–1–99 Меліоративні системи та споруди. К.: Держбуд України, 1999. 112 с.

- [3] ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 36 с.
- [4] ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, 2018. 29 с.
- [5] Мирцхулава Ц.Е. Надёжность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974. 424 с.
- [6] Мирцхулава Ц.Е. О надёжности крупных каналов. М.: Колос, 1981. 318 с.