



Токар Л. О., к.т.н., доцент, Токар О. І., к.т.н., доцент, Водько В. Р., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

НОРМУВАННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ГІДРОМЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ ПРИ ЇХ ПРОЕКТУВАННІ

Проаналізовано класифікацію гідротехнічних споруд гідромеліоративних систем за класами капітальності та класами наслідків (відповідальності). Запропоновано значення допустимих рівнів надійності для гідромеліоративних споруд залежно від класу капітальності та класів наслідків (відповідальності).

Ключові слова: гідромеліоративна система, оцінювання надійності, клас споруди, коефіцієнт надійності, рівень надійності.

Кожна гідромеліоративна система проходить три етапи: проектування, будівництво і експлуатацію.

При проектуванні гідромеліоративної системи вибирають схему системи, кількість її елементів, їх конструкції, технологію будівництва, принципи експлуатації. В процесі проектування закладається рівень надійності системи, без забезпечення якого експлуатація системи буде неефективною.

При проектуванні технічних систем, в тому числі і гідромеліоративних, показники економічної ефективності, надійності та якості в загальному випадку можна виразити системою цільових функцій [1]:

$$\left. \begin{aligned} ПЗ &= E_H K + C_E \rightarrow \min; \\ P(t) &\geq P_{D \min}; \\ П_я &\geq П_{я \min}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

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;

$P_{D \min}$ – мінімальний допустимий показник надійності об'єкта (системи) який забезпечує його окупність протягом нормативного строку

T_H .

Π_J – показник якості об'єкта;

$\Pi_{J_{\min}}$ – допустимий мінімальний показник якості, який забезпечує ефективне використання об'єкта (системи).

Переважно умова $P(t) \geq P_{D_{\min}}$ виконується за рахунок надлишковості елементів (резервування), що призводить до збільшення капітальних затрат і збільшення експлуатаційних затрат, пов'язаних з профілактичним обслуговуванням резервних агрегатів. Тому при оцінюванні ефективності роботи об'єктів приведені затрати потрібно звести до рівноцінних обсягів роботи. Наявність тотожності корисних результатів зводить всі розбіжності порівнювальних варіантів до однієї – відмінностям затрат, зумовлених виконанням роботи.

Враховуючи імовірнісний характер порівняльних обсягів робіт при визначенні прямих затрат доцільно використовувати 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 $P(t)$.

Залежність (2) характеризує фізичний мінімум, тобто пошук варіанта з найменшими затратами порівняно з іншими варіантами.

Сучасні норми проектування гідромеліоративних систем в цілому не пропонують ніяких кількісних показників надійності об'єктів, а тим більше систем. Практично всі методи проектування базуються на детерміністичних моделях, які часто можуть враховувати багаторічну практику проектування, будівництва і експлуатації об'єктів шляхом введення у розрахунки коефіцієнтів запасу.

Згідно норм [2] надійність споруд гідромеліоративних систем (табл. 1) визначається їх класом капітальності, який залежить від площі, котру обслуговують ці споруди.

Клас споруд гідромеліоративних систем допускається підвищити або знизити на одиницю при наявності достатнього обґрунтування. Допустимий рівень надійності меліоративних систем, що проектуються та реконструюються, залежно від класу споруд повинен становити не менше 0,85-0,90. Основні вимоги щодо проектування споруд різних класів, їх окремих конструкцій і основ, а також розрахункові положення та навантаження рекомендовано приймати згідно ДБН В.2.4-3:2010 [2].



Таблиця 1

Класи споруд меліоративних систем

Площа меліорованих земель, яка обслуговується спорудою при зрошенні або осушенні, тис. га.	Клас споруди
Більше 300	I
від 100 до 300 вкл.	II
від 50 до 100 вкл.	III
50...і менше	IV

Гідротехнічні споруди залежно від соціально-економічної відповідальності і наслідків можливих гідродинамічних аварій поділяють на класи наслідків (відповідальності). Відповідність класів капітальності споруд [2] прийнятим у нормах [3] класам та підкласам наслідків (відповідальності) споруд приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Відповідність класів капітальності споруд до прийнятих класів (підкласів) наслідків (відповідальності) споруд

Клас споруди	Класи і підкласи наслідків (відповідальності) споруд	
I	CC3	
II	CC2	CC2-1
III		CC2-2
IV	CC1	

У відповідності з класом наслідків (відповідальності) споруд, категорії відповідальності конструкції та її елементів і групи граничних станів призначаються величини коефіцієнтів надійності [3; 4], які наведено в табл. 3.

Як видно коефіцієнт надійності k_H є не що інше, як коефіцієнт запасу, котрий не змінюється протягом часу експлуатації споруди. Це добре видно із умови граничного стану [3]

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

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

F – розрахункове значення узагальненого силового впливу;

R – розрахункове значення узагальненої несучої здатності споруд.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів надійності для усталених умов роботи споруд гідромеліоративних систем

Класи і підкласи наслідків (відповідальності) споруд		Категорії відповідальності конструкції та її елементів	Коефіцієнти надійності, k_H	
			перша група граничних станів	друга група граничних станів
СС3		А	1,250	1,000
		Б	1,200	
		В	1,150	
СС2	СС2-1	А	1,200	1,000
		Б	1,150	
		В	1,100	
	СС2-2	А	1,150	1,000
		Б	1,100	
		В	1,000	
СС1		А	1,100	1,000
		Б	0,975	
		В	0,950	

Таким чином, з допомогою коефіцієнта k_H можна збільшити масу споруди, поперечний розмір та інші параметри, розміри яких визначені із умови граничного стану $k_H=1,0$.

Оскільки інтенсивність зменшення надійності об'єктів гідромеліоративних систем залежать від багатьох випадкових факторів, то виконуючи оцінювання надійності гідромеліоративних споруд потрібно переходити від детерміністичних моделей до імовірнісних.

В теорії надійності надійність технічних систем (об'єктів) оцінюють показниками, які мають не тільки величину, але у багатьох випадках змінюються протягом часу (наприклад, імовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт оперативної готовності).

Так Ц.Є. Мірцхулава допустиму надійність споруд гідромеліоративних систем в першому наближенні запропонував призначити в межах, наведених у табл. 4 [5; 6].

Як видно із табл. 4 усі гідротехнічні об'єкти гідромеліоративних систем зведені у чотири групи.

Коефіцієнт надійності можна тлумачити як збільшення надійності (імовірності безвідмовної роботи) у порівнянні з початковим рівнем надійності.



Таблиця 4

Допустимі мінімальні рівні надійності споруд
гідромеліоративних систем

Характеристика об'єкта	P_D
Елементи гідромеліоративних споруд і об'єктів, відмови яких не викликають суттєвих наслідків	0,95...0,90
Елементи, відмови яких не викликають раптових руйнувань	0,99...0,95
Відповідальні елементи (об'єкти) з поступовими та раптовими відмовами	0,999...0,99
Унікальні споруди, відмови яких можуть призвести до людських жертв або значних збитків народному господарству	0,9999...0,999

Як відомо з математичного аналізу, всяку 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 так [1]

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

Для споруд класу наслідків ССЗ прийнято $P_{D1} = 0,9999$, $k_{H1} = 1,25$, а $k_{Hmin} = 1,0$ тоді за формулою (5) $P_{Dmin} = 0,80$.

Використовуючи $P_{Dmin} = 0,80$ за формулою (5), отримано допустимі рівні надійності для споруд відповідних класів капітальності табл. 5.

Враховуючи існуючу класифікацію гідромеліоративних споруд (табл. 1-4) і результати табл. 5, допустимі рівні надійності можна призначити у межах (табл. 6).

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

Таблиця 5

Значення допустимого рівня надійності P_d і коефіцієнтів запасу k_H для гідротехнічних споруд у відповідності з класом капітальності та класом 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 (табл. 4)
I	CC3	A	1,250	0,9999	0,9999
		Б	1,200	0,960	
		В	1,150	0,920	
II	CC2-1	A	1,200	0,960	0,990
		Б	1,150	0,920	
		В	1,100	0,880	
III	CC2-2	A	1,150	0,920	0,950
		Б	1,100	0,880	
		В	1,000	0,800	
IV	CC1	A	1,100	0,880	0,900
		Б	0,975	0,780	
		В	0,950	0,760	

Таблиця 6

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	CC3	0,92...0,999
100...300	II	CC2-1	0,88...0,99
50...100	III	CC2-2	0,80...0,95
≤50	IV	CC1	0,76...0,90

Оскільки найважливішим етапом створення надійних і ефективних об'єктів і систем є етап проектування, то доповнення детерміністичних методів розрахунків імовірнісними 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. Науменко 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.

REFERENCES:

1. Naumenko I. I. Nadiinist sporud hidromelioratyvnykh system : navchalnyi posibnyk. K. : ISDO, 1994. 424 s. 2. DBN V. 2.4–1–99. Melioratyvni systemy ta sporudy. K. : Derzhbud Ukrainy, 1999. 112 s. 3. DBN V.2.4-3:2010. Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia. K. : Minrehionbud Ukrainy, 2010. 36 s. 4. DBN V.1.2-14:2018. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. K. : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva, 2018. 29 s. 5. Myrtskhulava Ts. E. Nadezhnost hydromeliorativnykh sooruzhenii. M. : Kolos, 1974. 424 s. 6. Myrtskhulava Ts. E. O nadezhnosti krupnykh kanalov. M. : Kolos, 1981. 318 s.

Рецензент: к.т.н., доцент Шинкарук Л. А. (НУВГП)

Tokar L. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Tokar O. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Vodko V. R., Senior Student (National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne)

NORMS OF RELIABILITY OF THE WORK OF HYDROMELLORATIVE SYSTEMS IN PROJECTING

The classification of hydrotechnical buildings of hydromelioration systems according to capital construction classes and classes of consequences (liability) is analyzed. It is established that modern design rules for hydro-amelioration systems as a whole do not offer quantitative indicators of the reliability of objects and all design

methods are based on deterministic models. In accordance with the class of consequences (liability) of the buildings, the categories of responsibility of the buildings and its elements and the group of boundary states, the values of the coefficients of reliability are set, which are the coefficients of the stock and does not change during the operation time of the buildings. Since the intensity of decreasing the reliability of the objects of hydro-amelioration systems depends on many random factors, performing the assessment of the reliability of hydro-ameliorative buildings requires switching from deterministic models to probabilistic ones. Therefore, the proposed values of permissible levels of reliability for hydro-amelioration structures depending on the class of capital and classes of consequences (liability), which allows the design of structures with the designated level of failure, to evaluate the work of the building without a refusal during the time of the calculated loads, to avoid unreasonable costs for construction of buildings and possible damages caused by failures of buildings.

***Keywords:* hydromelioration system, reliability estimation, capital construction class, coefficient of reliability, reliability level.**

Токарь Л. А., к.т.н., доцент, Токарь А. И., к.т.н., доцент, Водько В. Р., студент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

НОРМИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ПРИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Проанализирована классификация гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем по классам капитальности и классами последствий (ответственности). Предложено значения допустимых уровней надежности для гидромелиоративных сооружений в зависимости от класса капитальности и классов последствий (ответственности).

***Ключевые слова:* гидромелиоративная система, оценка надежности, класс сооружения, коэффициент надежности, уровень надежности.**
