

Гурин В. А., д.т.н., проф., Радчук М. І., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РЕБРИСТИХ ПЛИТ КРІПЛЕНЬ УКОСУ ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

Викладені основні показники, що впливають на надійність гідротехнічних споруд, та приведені дані натурних обстежень ребристих плит кріплення укосу берегів, виконаний їх аналіз надійності і встановлені кількісні показники збережаності.

Ключові слова: надійність гідротехнічних споруд, пошкодження, збережаність, залізобетонні ребристі плити, безпека експлуатації.

Для захисту берегів укосів водних об'єктів [7] від руйнування течією і хвилями, зменшення шорсткості живого перетину (для збільшення пропускної здатності) водних об'єктів застосовується облицювання. Бетонне облицювання є універсальним кріпленням, що забезпечує водонепроникність, захищає від розмивання, збільшує пропускну спроможність. Залізобетонне облицювання належить до гідротехнічних споруд. Розрахунковий строк служби такого облицювання залежно від природних факторів складає 40-60 років [5].

Обстеження та систематичні спостереження засвідчують, що в процесі тривалої експлуатації внаслідок дії різноманітних факторів в залізобетонних конструкціях виникає низка пошкодження та відмов [1], які знижують показники надійності гідротехнічних споруд.

В роботах [1, 2] було доведено, що при тривалій експлуатації залізобетонних кріплень укосу ґрунтової греблі водосховища, більше половини залізобетонних плит мають пошкодження прогресуючого характеру.

Під час експлуатації на гідротехнічні споруди діє комплекс природних факторів, таких як повітряна атмосфера, вода, хвилі, шуга і лід, низька або висока температура, атмосферні опади, вітри і бурі, сонячна радіація, сейсмічні сили та ін. [5, 8].

З огляду на наведене та з метою встановлення надійності роботи залізобетонних плит кріплення укосів берегів (рис. 1), які експлуатуються тривалий термін, та визначення комплексного впливу на них природних факторів, були проведенні натурні обстеження.

Ціллю обстеження залізобетонних плит є виявлення дефектів, визначення фізичного зносу в цілому та складання висновку про технічний стан плит та їх придатності до експлуатації.

Обстеження плит проводилося в три етапи:

- підготовка до проведення обстеження;
- попереднє (візуальне) обстеження;
- детальне (інструментальне) обстеження.

Підготовчі роботи проводились з метою складання програми проведення робіт з обстеження. Отримання проектної документації, матеріалів інженерно-геологічних вишукувань, знайомство з об'єктом обстеження, його конструктивними рішеннями та умовами експлуатації. Попереднє (візуальне) обстеження проводилося з метою оцінки технічного стану облицювання за зовнішніми ознаками та планування детального (інструментального) обстеження. Детальне обстеження включало в себе: вимірювання геометричних параметрів, конструкцій, їх елементів та вузлів; інструментальне визначення параметрів дефектів; визначення фактичної міцності бетону.

Об'єктом дослідження є залізобетонні плити кріплення укосів регульованого русла р. Устя в межах м. Рівного, які введені в експлуатацію з 1974 року.

В геологічній будові на території переважають сучасні алювіальні ґрунти (суглинки), болотні ґрунти (торф), сапропелі. Укоси сплановані і закріплені ребристими плитами уніфікованими РПУ 15-30 (рис. 1) для запобігання руйнування берегів. Плити кріплення ребристі, марка бетону – В35, морозостійкість – F150, водонепроникність – W6. Влаштування залізобетонних плит виконувалося по шару щебеню товщиною 15 см та по шару насипного ґрунту з піску. Упорний зуб виконаний з каменю. Шви між плитами заповненні цементним розчином.

Таблиця 1

Характеристики технічного стану споруд та заходів щодо забезпечення їх роботоздатності [3]

Вид технічного стану	Нормативний	Роботоздатний	Обмежено-роботоздатний	Нероботоздатний	Повне руйнування	
Категорія дефекту	дефектів нема	1-а категорія - малозначний дефект	2-а категорія - значний дефект		3-я категорія критичний дефект	
Коефіцієнт збереженості	1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	0,6-0,4	0,4-0,2	0,2-0
Показник зношування	%	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
	Безрозмірний	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0
Вид ремонту	-	Поточний ремонт	Капітальний		Відновлення	Списання
			Вибірковий	Комплексний		

Результати обстеження залізобетонних плит кріплення укосів на рі-

чці Устя у м. Рівне наведені в табл. 3.

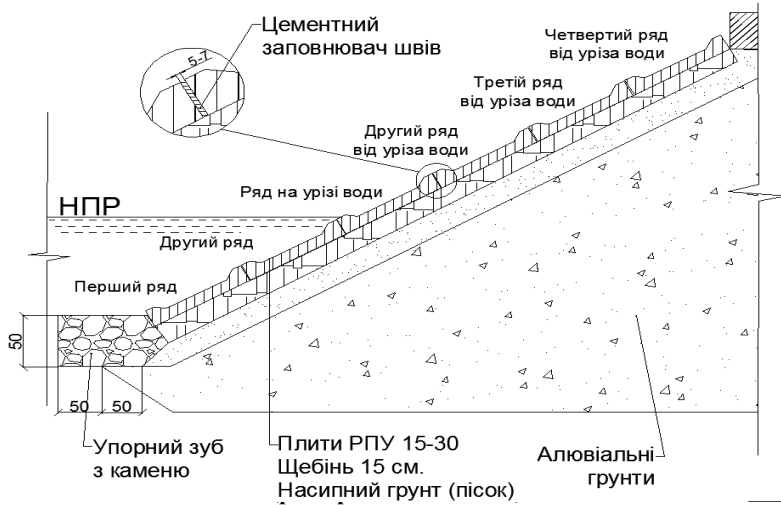


Рис. 2. Характерні пошкодження плит

Пошкодження плит у вигляді викришування бетону з подальшим оголенням арматури нижнього ребра плити є характерним типом (рис. 2). Це пояснюється комплексним впливом природних факторів, основні з яких це різні температурні деформації арматури та бетону, а також втрата бетону морозостійкості внаслідок циклічного замерзання води атмосферних опадів, яка накопичується біля нижнього ребра плити. Плити, які знаходяться під мостами, захищені від атмосферних опадів, для них таке пошкодження не є характерним.

Характеристики технічного стану залізобетонних плит кріплення укосів

Вид технічного стану	Нормативний	Роботоздатний	Обмежено-роботоздатний	Нероботоздатний	Повне руйнування
Мехнічні пошкодження залізобетонних плит РПУ	-	сколи країв плити	сколи країв плити з утворенням тріщин	оголення арматури, перелом плити, отвір в плиті	повне руйнування плити
Пошкодження та відмови залізобетонних плит РПУ	-	розкришування поверхні окремих ділянок плити	розкришування бетону елемента плити, оголення арматури, наявні тріщини бетону	втрата структури бетону, зміщення, просідання, випинання плити, перелом плити	повне руйнування плити

Таблиця 3

Результати обстеження залізобетонних плит кріплення укосів на річці Устя, м. Рівне

Ряд розміщення плит	Загальна кількість плит	Вид технічного стану									
		нормативний		роботоздатний		обмежено-роботоздатний		нероботоздатний		повне руйнування	
		к-сть плит	міцність бетону, МПа	к-сть плит	міцність бетону, МПа	к-сть плит	міцність бетону, МПа	к-сть плит	міцність бетону, МПа	к-сть плит	міцність бетону, МПа
Обстеження бетонних плит РПУ 15-30 облицювання берегів річки Устя											
На урізі води	248	143	46,0	25	39,4	78	20,3	2	39,4	-	-
Другий від уріза води	247	138	46,0	23	42,0	86	39,4	-	-	-	-
Третій від уріза води	248	140	49,0	15	42,0	91	41,0	2	39,4	-	-
Четвертий ряд від уріза води	249	143	46,0	33	41,0	73	39,4	-	-	-	-
Всього	988	564		96		324		4		-	-
Обстеження бетонних плит РПУ 15-30 облицювання берегів річки Устя під мостами											
На урізі води	74	44	46,0	18	42,0	12	42,0	-	-	-	-
Другий від уріза води	9	6	49,0	2	46,0	1	42,0	-	-	-	-
Третій від уріза води	93	68	51,0	15	49,0	10	49,0	-	-	-	-
Всього	176	118		35		23		-	-	-	-

Технічний стан елементів кріплення укосу плит (таблиця 2) визначається категорією виявлених дефектів, та дозволяє класифікувати їх, а також прослідкувати можливі варіанти погіршення роботи елемента. Дефекти можуть бути наступні: малозначні – I-ї категорії, справний стан елемента; значні – II-ї категорії, роботоздатні або з обмеженим роботоздатним станом (залежно від характеру дефекту і експлуатаційних можливостей); критичні – III-ї категорії, нероботоздатні, з граничним станом; IV-ї категорії – повне руйнування.

Вплив дефекту на роботоздатність елемента визначає його збереження і характеризується коефіцієнтом збережуваності a , який слід встановлювати шляхом порівняння ознак дефектів, виявлених в результаті обстежень, з нормативними. Це значення встановлюють шляхом оцінки [3, 5].

Коефіцієнт збережуваності для елементів без пошкоджень I-ї категорії приймається $a_1=1$, з малозначними дефектами II-ї категорії приймається в інтервалі $1 > a_2 \geq 0,6$, даній категорії відповідають плити з викришуванням бетону, оголенням арматури та плити з тріщинами; зі значними для III-ї категорії – $0,6 > a_3 \geq 0,4$, цій категорії відповідають плити, що втратили структуру бетону; з критичними для III-ї категорії – $a_4 < 0,4$, даній категорії відповідають плити, які повністю зруйновані.

Коефіцієнт збережувальності групи однорідних елементів визначається за формулою [3]

$$a = \frac{\sum_{j=1}^m a_j}{m}, \quad (1)$$

де a_j – значення коефіцієнта збереження елемента;

$j = 1, 2, 3, \dots, m$ – номер елемента i -ї групи однорідних елементів;

m – кількість елементів у i -й групі однорідних елементів.

Таким чином, для плит кріплення коефіцієнт збережуваності

$$a = \frac{1 \times 564 + 0,9 \times 96 + 0,8 \times 324 + 0,6 \times 4}{564 + 96 + 324 + 4} = 0,922 ;$$

для плит, які захищені від впливу атмосферних опадів, коефіцієнт збережуваності

$$a = \frac{1 \times 118 + 0,9 \times 35 + 0,8 \times 23}{118 + 35 + 23} = 0,958 .$$

Коефіцієнт збережуваності знаходиться в межах 0,8-1,0, що дозволяє зробити висновок згідно з [3], що залізобетонні плити кріплення укосу річки є роботоздатні.

До основних вимог надійності об'єктів належить і гарантія безпеки для здоров'я і життя людей.



Рис. 3. Пошкодження, що несуть підвищений ризик нещасних випадків

Такі пошкодження (рис. 3) мають прогресуючий характер і знижують безпеку експлуатації, що визначають аспекти об'єктів, які пов'язані з ризиком тілесних пошкоджень для людей, які несвідомо чи з наміром можуть виходити на залізобетонні плити. Пошкодження плит підвищує рівень ризику нещасних випадків через падіння після ковзання, спотикання чи зачеплення, яке необхідно враховувати при експлуатації [4].

За результатами обстежень проведемо аналіз пошкоджень плит кріплення укусу, який полягає у визначенні імовірності:

$$\text{роботи плит без пошкоджень } P = (N_0 - m) / N_0 ; \quad (2)$$

$$\text{пошкодження плит } Q = m / N_0 ; \quad (3)$$

в тому числі імовірність виникнення пошкоджень:

$$\text{з малозначним дефектом } Q_1 = m_1 / m ;$$

$$\text{з значним дефектом } Q_2 = m_2 / m ;$$

де N_0 – загальна кількість плит;

m – кількість пошкоджених плит $m = m_1 + m_2$;

m_1 – кількість плит із малозначними дефектами;

m_2 – кількість плит із значними дефектами.

Втрату міцності пошкоджених залізобетонних плит обчислюють за формулою [10]

$$\Delta R = \frac{R_k - R_c}{R_k} \cdot 100 \% , \quad (4)$$

де R_k – середнє арифметичне значення міцності плит, що відповідають нормативному стану, МПа; R_c – середнє арифметичне значення міцності залізобетонних плит, які мають дефекти, МПа.

Розрахунки ймовірнісних показників надійності та втрати міцності бетону зведені в таблицю 4.

Таблиця 4

Кількісний аналіз ймовірності пошкоджень плит кріплення

Ряд розміщення плит	Ймовірність роботи плит без пошкоджень	Ймовірність пошкодження плит			Втрата міцності плит, які в роботоздатному стані	Втрата міцності плит, які в обмежено-роботоздатному стані
		всього пошкоджено	в тому числі			
			з мало-значним дефектом	зі значним дефектом		
	P	Q	Q ₁	Q ₂	ΔR	ΔR
Надійність бетонних плит облицювання берегів річки Устя						
На урізі води	0,57	0,43	0,12	0,31	14,35	55,87
Другий від уріза води	0,55	0,45	0,11	0,34	8,70	14,35
Третій від уріза води	0,56	0,44	0,08	0,36	14,29	16,33
Четвертий ряд від уріза води	0,57	0,43	0,14	0,29	10,87	14,35
Всього	0,56	0,44	0,12	0,33	12,05	25,22
Надійність бетонних плит облицювання берегів річки Устя, що захищені від опадів						
На урізі води	0,71	0,29	0,18	0,12	8,70	8,70
Другий від уріза води	0,75	0,25	0,17	0,08	6,12	14,29
Третій від уріза води	0,66	0,32	0,19	0,13	3,92	3,92
	0,69	0,30	0,18	0,12	6,25	8,97

Аналіз розрахунків показує, що з строком експлуатації 38 років залізобетонні плити, що захищені від опадів, мають на 21% менше пошкоджень із значним дефектом, ніж плити, які піддаються впливу опадів. Втрата міцності бетону для плит з пошкодженнями в середньому становить 19%, для плит, які захищені від опадів, це значення не перевищує 7,6%.

Висновки. 1. Коефіцієнт збережуваності ребристих плит уніфікованих знаходиться в межах 0,8-1,0, що дозволяє зробити висновок, що залізобетонні плити кріплення укусу річки виконують свої функції.

2. За результатами натурних обстежень залізобетонних плит кріп-

лення укосу встановлено, що характерне пошкодження для плит – це викришування бетону з оголенням арматури нижнього ребра плити.

3. Залізобетонні плити, що захищені від опадів, мають на 21% менше пошкоджень зі значним дефектом, ніж плити, які піддаються впливу опадів. Втрата міцності бетону для плит з пошкодженнями в середньому становить 19%, для плит, які захищені від опадів, це значення не перевищує 7,6%.

4. Пошкодження ребристих плит з оголенням арматури підвищують рівень ризику нещасних випадків через падіння після ковзання, спотикання чи зачеплення, що необхідно враховувати для забезпечення безпеки експлуатації.

1. Бабич Є. М. Оцінка технічного стану залізобетонних кріплень ґрунтових укосів гідротехнічних споруд в процесі експлуатації та методи його відновлення: Рекомендації / Є. М. Бабич, О. В. Гірський. – Рівне – Южноукраїнськ: НУВГП, 2009. – 39 с. **2.** Бабич Є. М. Пошкодження деформаційних швів залізобетонного кріплення укосів ґрунтових дамб в процесі тривалої експлуатації та їхнє відновлення / Є. М. Бабич, О. В. Гірський // Вісник НУВГП. – 2009. – С. 435-441. **3.** Портовые гидротехнические сооружения правила обследования и мониторинга технического состояния : ГОСТ Р 54523-2011. – М. : Стандартинформ, 2012. **4.** Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації : ДБН В.1.2-9-2008. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. **5.** Гідротехнічні споруди. Основні положення : ДБН В.2.4-3:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. **6.** Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення : ДСТУ 2861-94. Держстандарт України. – К. : 1994. **7.** Водне господарство. Терміни та визначення основних понять : ДСТУ 7176:2010. – К. : Держспоживстандарт України. – 23 с. **8.** Кавешников Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – М. : Агропомиздат, 1989. – 272 с. **9.** Науменко И. И. Надежность сооружений гидромелиоративных систем / И. И. Науменко. – Киев, 1994. – 424 с. **10.** Пособие к «Методики определения критериев безопасности гидротехнических сооружений РД 153-34.2-21.342-00». – Москва : ЦПТИиТО ОРГЭС, 2006. **11.** Дворкін Л. Й. Основи бетонознавства / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін. – К. : Основа, 2007. – 616 с.

Рецензент: д.т.н., професор Ткачук М. М. (НУВГП)