

**Фрідріхсон В. Л., к.т.н., старший науковий співробітник,  
Кривоног О. І., к.т.н., старший науковий співробітник,  
Кривоног В. В., к.т.н., старший науковий співробітник,  
Романенко П. Ю., головний інженер-гідротехнік (Інститут  
гідромеханіки НАН України, м. Київ, igmggs@ukr.net)**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ХВИЛЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗВОРОТНИЙ ФІЛЬТР З ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

За допомогою фізичного моделювання на малорозмірній моделі проведено експериментальні дослідження зміни фізичних, механічних та фільтраційних властивостей геотекстильних нетканих матеріалів, які застосовуються як зворотні фільтри захисних гнучких кріплень берегів річок та водойм, при дії на них довготривалого хвильового навантаження.

Дослідження проводились на розробленій авторами установці вертикальних коливань, яка моделює навантаження від дії вітрових або судових хвиль висотою до 1.5 м.

Встановлено, що фільтраційні властивості геотекстильних матеріалів вітчизняного виробництва після дії на них циклічних навантажень практично не змінюються. Міцність на розрив цих же матеріалів зменшується від 20.0 до 54.0% залежно від типу матеріалу і тривалості експерименту, а міцність на продавлювання зменшується на 18.0–30.0%. Величина подовження матеріалів на момент розриву залежить від умов проведення дослідів (з щебенем чи без) і способу їх обробки при виготовленні.

Результати проведених досліджень підтверджують можливість використання розроблених раніше авторами методик розрахунку гнучких кріплень укосів з використанням геотекстилю та розрахунку міцності геотекстилю при продавлюванні його щебенем захисного шару, а саме, коректність врахування збільшення міцності на розрив геотекстилю в 2 рази та введення коефіцієнта динамічності  $K=2$  при підборі геотекстильних матеріалів за їхніми вихідними характеристиками міцності.

**Ключові слова:** геотекстильні матеріали; гнучкі кріплення берегів; хвильове навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В основу вимог при розробці нових ефективних конструкцій укосів гідротехнічних споруд

покладено їх спроможність протидіяти хвилям і не допускати виносу фільтраційним та поверхневим потоками ґрунтів основи. При цьому повинна бути забезпечена технологічність улаштування конструкцій та їх економічність.

Наслідком багаторічних досліджень в цьому напрямі є розробка конструкцій гнучких кріплень укосів з використанням штучних синтетичних матеріалів під облицюванням кріплень в якості зворотного фільтра або перехідного шару, який забезпечує надійний контакт з ґрунтом основи.

Досвід будівництва кріплень укосів з використанням геотекстильних матеріалів має багаторічну історію. В багатьох країнах геотекстильні матеріали використовують доволі часто при будівництві гнучких кріплень укосів судноплавних каналів, захисних дамб і берегів річок [1; 2; 3].

В Україні також було побудовано декілька об'єктів з використанням матів із скловолокон під монолітним бетонним кріпленням [4]. В останні роки в Інституті гідромеханіки НАН України разом з ВАТ «Український науково-дослідний інститут текстильної промисловості» і ВАТ «Проектно-технологічний інститут «Укроргводбуд» проводились дослідження геотекстильних матеріалів вітчизняного виробництва. На підставі цих досліджень було запропоновано конструкцію і методику розрахунку гнучкого кріплення укосів земляних гідротехнічних споруд з використанням геотекстильних матеріалів в якості зворотного фільтра, яка пройшла успішну апробацію на річках і водоймах України [5; 6].

Проте коефіцієнт динамічності  $K = 2$  не враховує можливі зміни міцностних характеристик матеріалу при дії на нього змінних по знаку навантажень та переміщень при довгостроковій дії хвиль на такі кріплення [7].

Правильно обґрунтований вибір, а саме – визначення допустимого зусилля на розрив геотекстильного матеріалу з урахуванням зміни його характеристик в процесі експлуатації, вкрай важливий при розробці надійних конструкцій гнучкого кріплення укосів при дії на них хвильового навантаження.

**Основні цілі дослідження.** Експериментальне вивчення на малорозмірній моделі зміни фізичних, механічних та фільтраційних властивостей геотекстильних матеріалів зворотного фільтра захисних гнучких кріплень берегів річок та водойм при дії на них розрахункових навантажень від довготривалої дії поверхневих хвиль з метою уточнення величини коефіцієнта динамічності  $K$ .

## Результати роботи та їх обґрунтування

**Експериментальна установка.** Для проведення досліджень було розроблено і виготовлено установку вертикальних коливань, яка моделює дію вітрових або судових хвиль висотою до 1.5 м [8].

Установка може генерувати тривалі циклічні коливання з частотою від 0.05 до 5.0 Гц і амплітудою від 1.0 до 4.5 мм, при цьому навантаження на модель змінюється від 0 до 45.0 кН/м<sup>2</sup>.

Конструкція установки (рис. 1) складається з привода вертикальних коливань (1), приладу для моделей, які досліджували, (2), пристрою контролю і підтримки заданого вертикального навантаження на модель (3), датчика вертикальних переміщень (4). Установка також містить пристрій керування та реєстрації (5) і персональний комп'ютер (6).

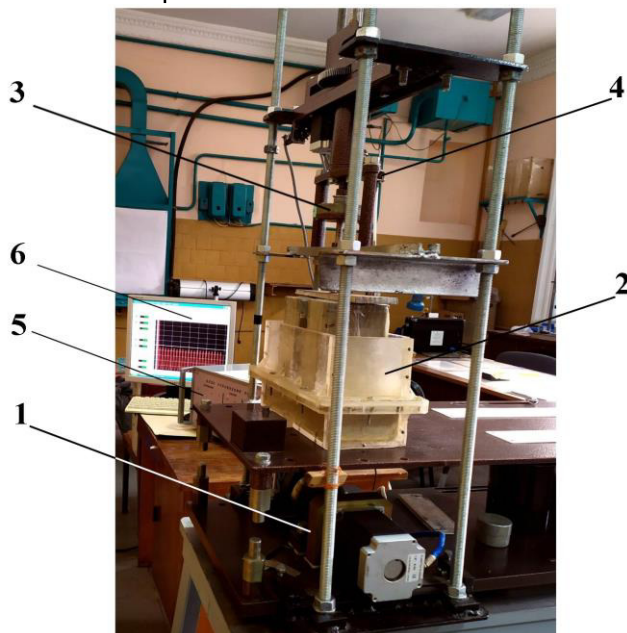


Рис. 1. Установка вертикальних коливань

Прилад для моделей, які досліджували, складається з двох частин. У нижній частині розташовується шар ґрунту основи (в проведених дослідях – середньо- та дрібнозернистий піски) товщиною 6.0–10.0 см. В верхній частині моделі знаходяться штампи для передачі навантажень на зворотний фільтр і ґрунт основи.

Пристрій керування та реєстрації забезпечує через блоки керування шаговими двигунами керування приводом вертикальних коливань і приводом вертикального навантаження, а також

реєстрацію величин вертикального навантаження і деформації ущільнення.

Інформація, яку отримують в процесі досліду, представлена на моніторі ПК у графічному вигляді і записується в окремий файл з частотою передачі даних до 200 разів за секунду.

### Методика проведення досліджень

Експериментальні дослідження проведено з метою моделювання роботи зворотних фільтрів з геотекстильних матеріалів для рекомендованих нами конструкцій гнучких кріплень берегів водойм та рівнинних річок при висоті хвилі до 1 м. Схему кріплення, яке моделювали при проведенні досліджень, наведено на рис. 2, а діючі на кріплення навантаження при обрушенні вітрової хвилі – на рис. 3.

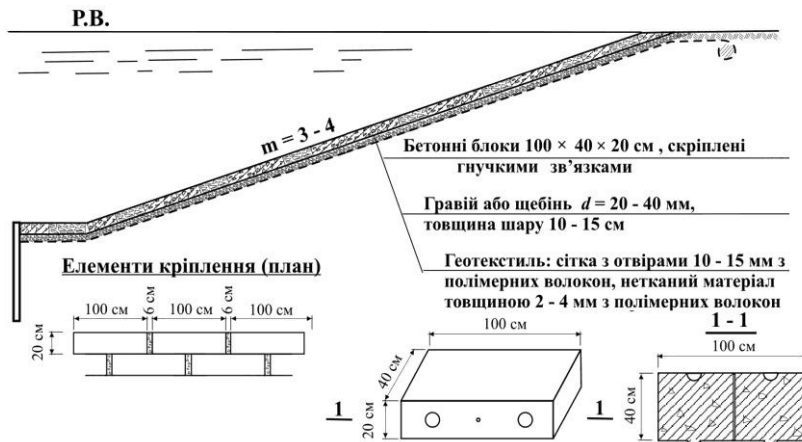


Рис. 2. Кріплення з бетонних блоків з шаром щебеню

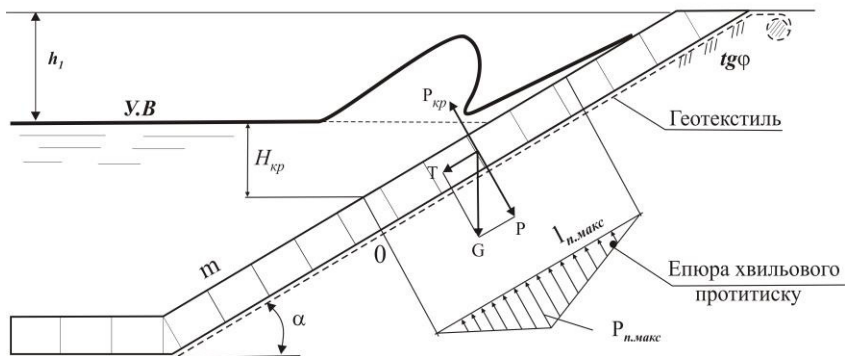


Рис. 3. Навантаження на кріплення при обрушенні вітрової хвилі

Для розрахункової схеми (рис. 3) допустиме зусилля на розрив геотекстилю  $[T]$ , з урахуванням коефіцієнта запасу стійкості кріплення  $K_3 = 1.2$ , визначається згідно з

$$[T] = 1.2 \cdot T - tg \varphi \cdot (P - P_n), \quad (1)$$

де  $T$  – зусилля на розтяг;  $tg \varphi$  – кут внутрішнього тертя по контакту геотекстилю та ґрунту;  $P$  – сила, яка діє перпендикулярно поверхні укусу;  $P_n$  – сила хвильового протитиску.

При цьому критерієм при виборі геотекстильного матеріалу є його технічна характеристика міцності на розрив, яка повинна бути вдвічі більше ніж  $[T]$  [6].

Перед виконанням лабораторних досліджень було проведено моделювання роботи кріплення за допомогою програмного комплексу «Plaxis» на ПК. Розміри та конструктивні особливості розрахункових схем були взяті для обґрунтування прийнятих параметрів лабораторної моделі. При дослідженнях вивчалось деформування розрахункової сітки моделі, її пружно-деформований стан і епюри зусиль, а також величин переміщень моделі.

Товщина ґрунту основи лабораторної моделі була обґрунтована розрахунками за допомогою програмного комплексу PLAXIS 2D для статичної задачі при дії максимального навантаження на кріплення від хвилі висотою 1.0 м. На рис. 4 наведено результати досліджень пружно-деформованого стану моделі конструкцій «ґрунт – геотекстиль» при цьому навантаженні.

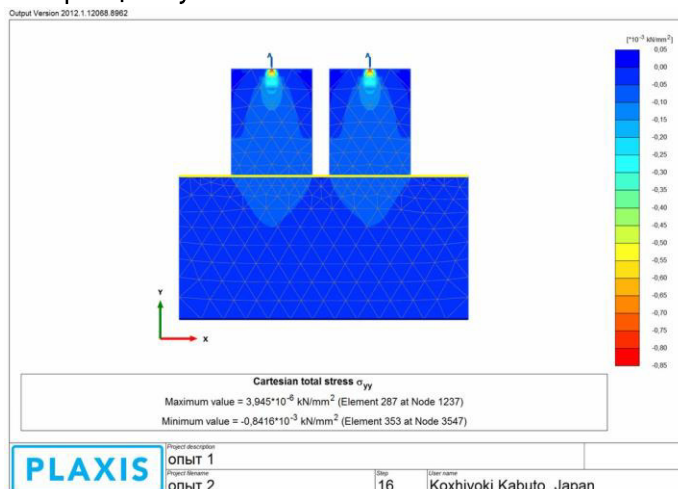


Рис. 4. Пружно-деформований стан моделі при навантаженні від хвилі висотою 1.0 м

Влаштування лабораторної моделі розпочинали з укладання ґрунту основи під воду без ущільнення, після чого на ґрунт укладався зразок досліджуваного геотекстильного матеріалу, який затискали по контуру між верхньою і нижньою частинами приладу. У дослідах з щебенем над зразком матеріалу влаштовували шар щебеню з розміром фракцій 10–20 мм і товщиною 20–30 мм. Статичне навантаження від бетонних блоків кріплення моделювали за допомогою двох штампів з розмірами основи 10.0×7.0 см і висотою 20.0 см. Динамічне навантаження на зразок при коливаннях передавалось через ці штампи. Відстань між штампами становила 2.0 см.

Динамічне навантаження на модель  $F_{XB}$ , яке дорівнювало 0.034 МПа, визначили згідно з СНиП 2.06.04-82\* при укосі  $m = 3$  та висоті хвилі 1.0 м. Тривалість кожного експерименту становила 648–1751 тис. коливань з частотою 2 Гц, що відповідає роботі кріплень на водосховищах впродовж 30–75 років. Збільшена в порівнянні з натурною частота коливань, на наш погляд, погіршує умови роботи кріплення. Зразки матеріалів, які досліджували, впродовж всього досліді знаходилися, як і ґрунт основи, у водонасиченому стані.

Визначення фізико-механічних і фільтраційних характеристик зразків геотекстильних матеріалів після дії довготривалих циклічних навантажень проводили згідно з стандартними методиками [9; 10] та розробленою раніше нами методикою дослідження міцності геотекстилю при продавлюванні фракціями захисного шару [7].

**Результати роботи та їх обґрунтування.** В процесі експериментальних досліджень були досліджені три марки геотекстильних нетканих матеріалів вітчизняного виробництва (зразки 1, 2, 3) та один матеріал іноземного виробництва, який поширений в практиці дорожнього та гідротехнічного будівництва в Україні (зразок 4):

1 – матеріал з поліефірного волокна, обробка – просочення латексом + голкопроколювання, з наступними структурними параметрами: поверхнева щільність  $\gamma_s=340$  г/м<sup>2</sup>, товщина  $\delta_o=2.3$  мм при навантаженні 2 кН/м<sup>2</sup>, діаметр елементарного волокна  $d_{e,b}=20$  мкм, середній діаметр пор  $d_{cep}^o=107$  мкм;

2 – матеріал з поліефірного волокна, обробка – термоусадка + голкопроколювання, з наступними структурними параметрами: поверхнева щільність  $\gamma_s=470$  г/м<sup>2</sup>, товщина  $\delta_o=4.75$  мм при

навантаженні 2 кН/м<sup>2</sup>, діаметр елементарного волокна  $d_{e.в.}=30$  мкм, середній діаметр пор  $d_{сер}^o=170$  мкм;

3 – матеріал з поліефірного волокна, обробка – просочення латексом + голкопроколювання, з наступними структурними параметрами: поверхнева щільність  $\gamma_s=210$  г/м<sup>2</sup>, товщина  $\delta_o=1.84$  мм при навантаженні 2 кН/м<sup>2</sup>, діаметр елементарного волокна  $d_{e.в.}=20$  мкм, середній діаметр пор  $d_{сер}^o=170$  мкм;

4 – матеріал іноземного виробництва: волокна – термічно скріплений поліпропілен, поверхнева щільність  $\gamma_s=136$  г/м<sup>2</sup>, товщина  $\delta_o=0.47$  мм при навантаженні 2 кН/м<sup>2</sup>, діаметр елементарного волокна  $d_{e.в.}=50$  мкм, середній діаметр пор  $d_{сер}^o=107$  мкм.

Середній діаметр пор матеріалів  $d_{сер}^o$  визначали за формулою (2) [11]:

$$d_{сер}^o = d_{e.в.} \left( \frac{\pi \cdot \gamma_{в.}}{4 \cdot \gamma_o} - 1 \right), \quad (2)$$

де  $d_{e.в.}$  – діаметр елементарного волокна мкм, визначали за допомогою мікроскопа;  $\gamma_{в.}$  – густина матеріалу волокон,  $\gamma_{в.}=1.38$  г/см<sup>3</sup> для ПЕ волокон,  $\gamma_{в.}=0.92$  г/см<sup>3</sup> для ПП волокон;  $\gamma_o$  – густина зразка матеріалу, г/см<sup>3</sup>.

Результати експериментальних досліджень представлено в таблиці.

Таблиця

№ дос-ліду	Кількість коливань, тис.шт	Коефіцієнт фільтрації при $P = 0.034$ МПа		Одновісний розтяг		Продавлювання конусом	
		Нормальний $K_n$ , м/добу	Паралельний $K_p$ , м/добу	Розривне навантаження $P$ , Н	Відносне подовження в момент розриву $\epsilon$ , %	Розривне навантаження $P_k$ , Н	Розтяг при розриві $\epsilon_k$ , %
Геотекстиль, зразок 2, ґрунт основи – пісок середньозернистий $d_{50.}=280$ мкм, коефіцієнт неоднорідності $\eta=1.85$ , товщина шару 6 см							
1	706.4	$\frac{145}{159}$	$\frac{170}{114}$	-	-	$\frac{900}{750}$	$\frac{130}{72}$
2	718	-	-	$\frac{763}{638}$	$\frac{83}{85}$	-	-
Теж саме + захисний шар з щебеню фракції 10–20 мм, товщиною 25 мм							
3	763.2	$\frac{145}{148}$	$\frac{170}{137}$	-	-	$\frac{900}{750}$	$\frac{130}{99}$

продовження таблиці

4	717	-	-	$\frac{763}{698}$	$\frac{83}{90}$	-	-
Геотекстиль, зразок 2, ґрунт основи – пісок дрібний, $d_{50}=180$ мкм, коефіцієнт неоднорідності $\eta=1.85$ , товщина шару 6 см							
5	709	$\frac{145}{121}$	-	-	-	$\frac{900}{745}$	$\frac{180}{89}$
Геотекстиль, зразок 1, ґрунт основи – пісок середньозернистий, товщиною 6 см							
6	732	$\frac{112}{113}$	-	-	-	$\frac{420}{390}$	$\frac{62}{60}$
7	731	-	-	$\frac{459}{443}$	$\frac{47}{52}$	-	-
Теж саме + захисний шар з щебеню фракції 10–20 мм, товщиною 25 мм							
8	648	$\frac{112}{105}$	-	-	-	$\frac{420}{346}$	$\frac{62}{58}$
9	730	$\frac{112}{116}$	-	$\frac{459}{442}$	$\frac{47}{49}$	-	-
10	723	-	-	$\frac{459}{412}$	$\frac{47}{36}$	-	-
Геотекстиль, зразок 1, ґрунт основи – пісок дрібний, товщиною 6 см + захисний шар з щебеню фракції 10...20 мм, товщиною 25 мм							
11	719	$\frac{112}{92}$	-	-	-	$\frac{420}{362}$	$\frac{62}{61}$
12	594	$\frac{112}{99}$	-	-	-	$\frac{420}{345}$	$\frac{62}{51}$
Геотекстиль, зразок 3, ґрунт основи – пісок дрібний, товщиною 6 см + захисний шар з щебеню фракції 10–20 мм, товщиною 25 мм							
13	761	$\frac{115}{103}$	-	-	-	$\frac{285}{233}$	$\frac{60}{51}$
Теж саме. На зразку виявлено 10 скрізних поривів, при розтягу розрив відбувся в місці найбільшого пошкодження зразка							
14	1751	-	-	$\frac{293}{134}$	$\frac{32}{30}$	-	-
Геотекстиль, зразок 4, ґрунт основи – пісок дрібний, товщиною 6 см + захисний шар з щебеню фракції 10–20 мм, товщиною 25 мм							
15	737	-	-	$\frac{450}{323}$	$\frac{52}{40}$	-	-

Примітка: чисельник – значення до досліджу, знаменник – після

За результатами досліджень, які наведено в таблиці, встановлено, що фільтраційні властивості зразків геотекстильних матеріалів вітчизняного виробництва після дії на них довготривалих циклічних навантажень, кількість яких відповідає терміну роботи кріплення в натурних умовах біля 30 років, практично не змінились.



Пошкодженнь цілісності матеріалу не виявлено, але міцність на розрив при одновісному навантаженні зменшилась до 20.0% залежно від типу матеріалу та умов проведення досліду, а міцність на продавлювання зменшилась від 18.0 до 30.0 відсотків. Зразок після дії циклічних навантажень, кількість яких відповідає терміну роботи кріплення в натурних умовах біля 75 років (дослід 14), зазнав значних пошкоджень щебенем, внаслідок чого його міцність на розрив зменшилась практично в два рази. Міцність на розрив матеріалу іноземного виробництва (зразок 4) зменшилась на 39.0%.

Слід відмітити, що під час дослідів виносу частинок піску через всі досліджені фільтри не встановлено.

Переміщення штампів під час дослідів становило від 0.01 до 0.53 мм залежно від кількості імпульсів, типу матеріалу та конструкції кріплення.

За результатами досліджень побудовано залежності між відносним подовженням матеріалу і його одновісним навантаженням. По характеру деформацій розтягу геотекстильні матеріали, які пройшли випробування на дію довгострокових циклічних навантажень, майже не відрізняються від вихідних зразків цих матеріалів (рис. 5 і 6).

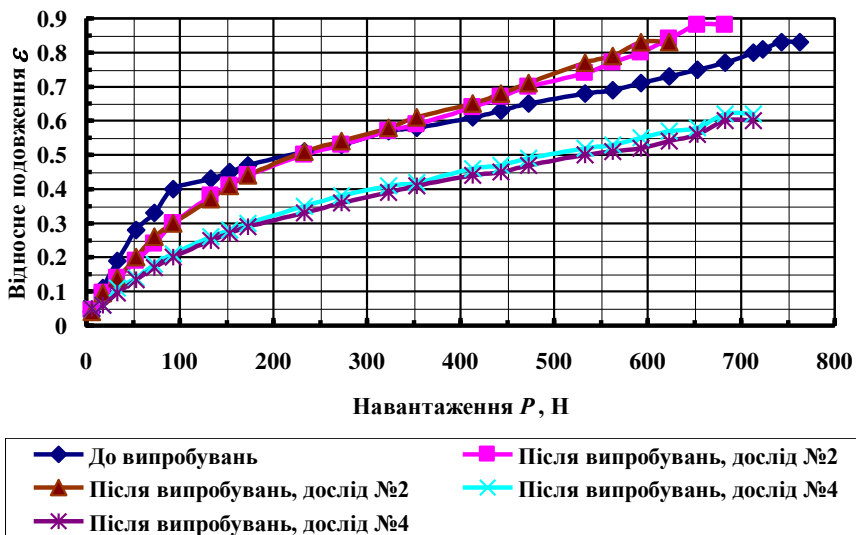


Рис. 5. Залежність  $\varepsilon = f(P)$  для геотекстильного матеріалу (зразок 1)

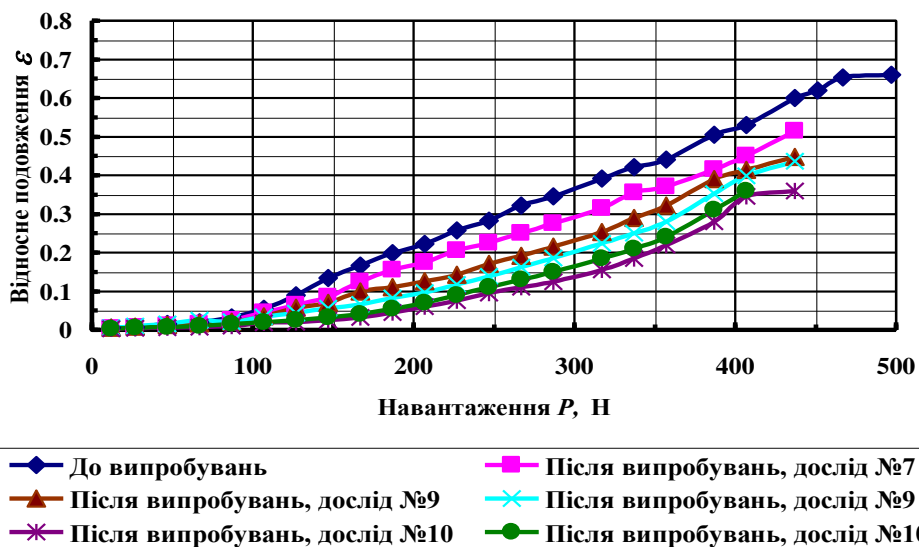


Рис. 6. Залежність  $\varepsilon = f(P)$  для геотекстильного матеріалу (зразок 2)

Наведені залежності засвідчують, що на величину подовження до моменту розриву та характер деформації матеріалів впливають як умови проведення дослідів (з щебенем чи без), так і спосіб обробки геотекстильних матеріалів при виготовленні.

Результати моделювання підтверджують можливість використання розроблених раніше авторами методик розрахунку гнучких кріплень укосів з використанням геотекстилю [6] та розрахунку міцності геотекстилю при продавлюванні його щебенем захисного шару [7], а саме:

- підтверджено коректність збільшення в 2 рази визначеного згідно з методикою [6] допустимого зусилля на розрив [7] при підборі геотекстильних матеріалів за їхніми вихідними характеристиками на розтяг, яке враховує також і зменшення міцності геотекстилю при довготривалому (до 30 років) впливі хвильового навантаження;

- величина коефіцієнта динамічності  $K=2$  у методиці розрахунку [7] не вимагає збільшення при розрахунковому терміні експлуатації кріплення до 30 років. У випадку більшого розрахункового терміну експлуатації величина цього коефіцієнта потребує додаткового обґрунтування.

## Висновки

Експериментальні дослідження зразків гнучкого кріплення зворотних фільтрів з геотекстильних матеріалів, які були проведені на малорозмірній моделі показали, що міцність геотекстильного матеріалу зменшується залежно від конструкції зворотного фільтра і тривалості експерименту від 20.0 до 54.0%.

Подовження геотекстильного матеріалу на момент розриву, якій зазнає навантаження через захисний шар з щебеню менше, ніж цього ж матеріалу при його роботі без захисного шару. На величину подовження матеріалу впливає також і спосіб обробки матеріалів при виготовленні.

При підборі вихідних характеристик геотекстильних матеріалів, для застосування їх в якості зворотних фільтрів захисних кріплень укосів водойм, можна використовувати розроблені раніше авторами методики розрахунку гнучких кріплень з використанням геотекстилю, які вже враховують вплив довготривалих динамічних навантажень від хвиль висотою до 1.0 м протягом 30 років.

1. Pilarczyk K. W. Prototype tests of slope protection systems. *Proc. Int. Conf., Institution of Civil Engineers*. London, 1984. P. 126–136. 2. H.-U. Abromeit. Biding Procedures and Placing Operation of Geotextile Filter Layers. *Proc. Int. Conf., Institution of Civil Engineers*. London, 1984. P. 137–139. 3. Dement L. E., Fowler J. Case histories using filter fabric underneath revetments in lower Louisiana. *Proc. Int. Conf., Institution of Civil Engineers*. London, 1984. P. 145–161. 4. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Рычко В. А. Дренаж с волокнистыми фильтрами. К. : Наукова думка, 1980. 214 с. 5. Бугай Н. Г., Фридрихсон В. Л. Расчет гибких креплений откосов с использованием геотекстиля для малосвязных грунтов. *Вісник Національного ун-ту водного господарства та природокористування* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2007. Вип. 4 (40). С. 16–21. 6. Бугай Н. Г., Фридрихсон В. Л., Кривоног А. И., Кривоног В. В. Гибкие крепления откосов земляных плотин гидротехнических сооружений с использованием геотекстиля. *Прикладна гідромеханіка*. 2006. Том. 8 (80). № 1. С. 3–21. 7. Бугай Н. Г., Кривоног А. И., Кривоног В. В., Фридрихсон В. Л. Прочность геотекстиля при продавливании галькой и щебнем. *Прикладна гідромеханіка*. 2009. Том. 11 (83). № 4. С. 9–16. 8. Білеуш А. І., Кривоног О. І., Кривоног В. В., Романенко П. Ю., Фрідріхсон В. Л. Прилад для дослідження хвильового навантаження на захисні кріплення: пат. України № 136898. Бюл. № 17. 10.09.2019 р. 9. ГОСТ 29104.8–91. Ткани технические. Метод определения прочности и растяжимости при

продавливанни шариком. М. : Изд-во стандартов, 1992. 9 с. **10.** ГОСТ 15902.3-79. Полотна нетканые. Методы определения прочности. (Полотна неткані. Методи визначення міцності). **11.** Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Фридрихсон В. Л., Кривоног А. И., Кривоног В. В. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления / Ин-т гидромеханики НАН Украины. К., 2000. 332 с.

## REFERENCES:

**1.** Pilarczyk K. W. Prototype tests of slope protection systems. *Proc. Int. Conf., Institution of Civil Engineers*. London, 1984. P. 126–136. **2.** H.-U. Abromeit. Biding Procedures and Placing Operation of Geotextile Filter Layers. *Proc. Int. Conf., Institution of Civil Engineers*. London, 1984. P. 137–139. **3.** Dement L. E., Fowler J. Case histories using filter fabric underneath revetments in lower Louisiana. *Proc. Int. Conf., Institution of Civil Engineers*. London, 1984. P. 145–161. **4.** Pivovар N. G., Bugay N. G., Rychko V. A. Drenaj s voloknistyimi filtrami. K. : Naukova dumka, 1980. 214 s. **5.** Bugay N. G., Fridrihson V. L. Raschet gibkih krepleny otkosov s ispolzovaniem geotekstilya dlya malosvyaznyih gruntov. *Visnyk Natsionalnoho un-tu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2007. Vyp. 4 (40). S. 16–21. **6.** Bugay N. G., Fridrihson V. L., Krivonog A. I., Krivonog V. V. Gibkie krepleniya otkosov zemlyanyih plotin gidrotehnicheskikh soorujeniy s ispolzovaniem geotekstilya. *Prykladna hidromekhanika*. 2006. Tom. 8 (80). № 1. S. 3–21. **7.** Bugay N. G., Krivonog A. I., Krivonog V. V., Fridrihson V. L. Prochnost geotekstilya pri prodavlivanii galkoy i schebnem. *Prykladna hidromekhanika*. 2009. Tom. 11 (83). No 4. P. 9–16. **8.** Bileush A. I., Kryvonoh O. I., Kryvonoh V. V., Romanenko P. Yu., Fridrihson V. L. Prylad dlia doslidzhennia khvylovoho navantazhennia na zakhysni kriplennia: pat. Ukrainy № 136898. Biul. № 17. 10.09.2019 r. **9.** GOST 29104.8–91. Tkani tehnichek. Metod opredeleniya prochnosti i rastyajimosti pri prodavlivanii sharikom. М. : Izd-vo standartov, 1992. 9 с. **10.** GOST 15902.3-79. Polotna netkanyie. Metody opredeleniya prochnosti. Polotna netkani. Metody vyznachennia mitsnosti). **11.** Pivovар N. G., Bugay N. G., Fridrihson V. L., Krivonog A. I., Krivonog V. V. Drenaj s voloknistyimi filtrami dlya zaschityi territoriy ot podtopleniya / In-t gidromekhaniki NAN Ukrainyi. K., 2000. 332 s.

---

**Fridrikhson V. L., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Research Fellow, Kryvonoh A. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Research Fellow, Kryvonoh V. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Research Fellow, Romanenko P. Yu., Chief Hydraulic Engineer** (Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: igmggs@ukr.net)

## **MODELING THE EFFECTS OF WAVE LOAD ON A REVERSE FILTER MADE OF GEOTEXTILE MATERIALS**

Using physical modeling on a small-scale model, experimental studies were conducted to investigate the changes in physical, mechanical, and filtration properties of nonwoven geotextile materials used as reverse filters for protective flexible bank reinforcements of rivers and water bodies under long-term wave loading.

The research was carried out on a vertical oscillation device developed by the authors, which simulates loading from the action of wind or ship waves with a height of up to 1.5 m.

It has been established that the filtration properties of domestically produced geotextile materials practically do not change after exposure to cyclic loads. The tensile strength of the same materials decreases from 20.0 to 54.0% depending on the type of material and the duration of the experiment, and the bursting strength decreases by 18.0 to 30.0 percent. The extent of elongation of the materials by the time of rupture depends on the conditions of the experiments (with or without crushed stone) and the way they were processed during manufacturing.

The results of the research confirm the possibility of using the methods previously developed by the authors for calculating flexible fastenings of slopes using geotextiles and calculating the strength of geotextiles when crushing the protective layer with crushed stone, namely, the correctness of taking into account the increase in the tensile strength of geotextiles by 2 times and the introduction of the dynamism coefficient  $K=2$  when selecting geotextile materials according to their initial strength characteristics.

**Keywords:** geotextile materials; flexible fastening of shores; wave load.