



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-5>

УДК 627.421:627.142



**ТИТАРЕНКО В.А.**

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділення ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 0679199507@ukr.net, тел.: +38 (067) 919-95-07, ORCID: 0000-0001-9746-2399



**ДОМБРОВСЬКИЙ Я.І.**

Завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 355niisk356@gmail.com, тел.: +38 (067) 420-57-55, ORCID: 0000-0003-0687-1256



**ШУМІНСЬКИЙ В.Д.**

Канд. техн. наук, провідний науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: shumikvd@gmail.com, тел.: +38 (096) 617-55-70, ORCID: 0000-0002-8751-1983

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ В ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ

### АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена застосуванню геосинтетичних матеріалів та містить вимоги до проектування і влаштування геосинтетичних гнучких габіонів (матраців), геотуб у гідротехнічному будівництві для захисту укосів гребель з ґрунтових матеріалів, дамб, до охорони навколишнього середовища при новому будівництві та їх реконструкції. Мета роботи – аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві України з врахуванням світового досвіду. В статті розглянуті пропозиції щодо умов застосування геосинтетичних гнучких габіонів, класифікацію, вихідні дані, необхідні для їх проектування, визначення основних розмірів габіонів, а також схеми захисту берегів водних об'єктів від розмивів геосинтетичними гнучкими габіонами.

Застосування георешіток та геотекстиля в габійних конструкціях є одним з найефективніших і універсальних способів не тільки захисту укосів земляних гребель та

дамб від розмиву та їх зміцнення, але і посилення, стабілізації і захисту земляного полотна, підмостових конусів, опор мостів, регуляційних дамб, дамб обвалування тощо. Також сучасні геосинтетичні матеріали зазвичай застосовують для вирішення багатьох проблем у галузі гідротехніки при будівництві, реконструкції та в період експлуатації гребель з ґрунтових матеріалів та дамб, при влаштуванні дренажних пристроїв, для армування споруд з ґрунтових матеріалів, для гідроізоляції конструкцій та споруд, протиерозійного захисту. Широке застосування геосинтетиків у будівництві обумовлено їх високими фізико-механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрогеологічних факторів, довговічністю і, головним чином, екологічною безпекою.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** габійон, геотуба, геосинтетичні матеріали, довговічність, кріплення укосів, матрац, надійність, розмив.



## APPLICATION OF GEOSYNTHETIC MATERIALS IN HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

### ABSTRACT

This article is dedicated to the application of geosynthetic materials and includes requirements for the design and arrangement of geosynthetic flexible gabions (mattresses), geotubes in hydrotechnical construction for the protection of slopes of earthen dams, embankments, in environmental protection during new construction and their reconstruction. The aim of the work is to analyze the use of geosynthetic materials in hydrotechnical construction in Ukraine considering the global experience. The article discusses proposals on the conditions for the application of geosynthetic flexible gabions, their classification, initial data required for their design, determination of the main dimensions of gabions, as well as schemes for the protection of water bodies' banks from erosion by geosynthetic flexible gabions.

The use of geogrids and geotextiles in gabion constructions is one of the most effective and universal methods not only for the protection of slopes of earth dams and embankments from erosion and their reinforcement but also for the reinforcement, stabilization, and protection of the earth canvas, bridge abutment cones, bridge supports, regulatory dams, enclosing dams, etc. Modern geosynthetic materials are typically used to solve many problems in the field of hydraulics during the construction, reconstruction, and operation period of earthen dams and embankments, in the arrangement of drainage devices, for reinforcing structures made of earthen materials, for waterproofing of structures and facilities, anti-erosion protection. The wide application of geosynthetics in construction is due to their high physical and mechanical properties: strength, resistance to climatic and hydrogeological factors, durability, and, most importantly, environmental safety.

**KEYWORDS:** gabion, geotube, geosynthetic materials, durability, bracing, mattress, reliability, softening.

### ВСТУП

У гідротехнічному будівництві при влаштуванні берегозахисних та утримуючих споруд, при захисті берегів водних об'єктів, підсиленні гребель з ґрунтових матеріалів, при сейсмічних впливах широко застосовуються геосинтетичні матеріали (геотекстилі, геосітки, геомембрани, геокомпозити, георешітки, габіони, тюфяки (матраци) тощо).

Геосинтетичні матеріали – це загальна термінологія для усіх видів синтетичних матеріалів, які застосовуються в різних типах гідротехнічних споруд. Характеристика геосинтетичних матеріалів визначаються їх компонентами, призначенням, сировиною, типом,

кріпленням або з'єднанням волокон, а також розташуванням вузлових точок перетину георешіток. Сучасні геосинтетичні матеріали також мають великі можливості для вирішення багатьох проблем при новому будівництві, реконструкції та в період експлуатації об'єктів у галузі гідротехніки. Основні сфери застосування геосинтетиків [1-5]: в греблях з ґрунтових матеріалів, в дренажних конструкціях, для армування ґрунту при зведенні гребель з ґрунтових матеріалів, берегозахисних споруд, кріпленні укосів, для гідроізоляції конструкцій гідротехнічних споруд, протиерозійного захисту. Світовий досвід доводить ефективність застосування сучасних синтетичних матеріалів. У світі випускається близько 380-400 різних видів геосинтетичних матеріалів. Широке застосування геосинтетиків у гідротехнічному будівництві обумовлено їх високими фізико-механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрологічних факторів, довговічністю і, головним чином, екологічною безпекою.

Мета роботи – аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві України з врахуванням досвіду в США та країнах ЄС.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Георешітки є одним з довговічних армуючих синтетичних елементів, що застосовуються у гідротехнічному будівництві. Мета їх застосування – підвищення міцності і надійності конструкції, її експлуатаційних показників, особливо в умовах сейсмічних впливів. При зведенні гідротехнічних споруд різного призначення застосовуються, в основному, одновісні георешітки, які широко використовуються в габіонах для захисту укосів гребель з ґрунтових матеріалів та дамб, для армування ґрунту земляних гребель та підпірних стін, а також при підсиленні споруд з ґрунтових матеріалів. Технологія влаштування таких споруд не потребує додаткових механізмів та спеціальних навичок. Завдяки пошаровому ущільненню ґрунту засипки або тіла ґрунтової споруди забезпечується утворення масиву ґрунту, який завдяки спільній роботі з георешіткою прискорює процес консолідації ґрунту.

Одновісні георешітки використовуються при влаштуванні габіонів (матраців) для укріплення берегів водних об'єктів. При ущільненні ґрунту засипки його частинки проникають крізь отвори георешітки та взаємодіють з нею (розклинаються і передають зусилля на всі сторони рівномірно) та між собою і утворюють армований напружений шар ґрунту (з решітки і ґрунту) з покращеними характеристиками міцності.

При динамічному (сейсмічному) впливі армований напружений шар ґрунту не перешкоджає



вертикальному переміщенню дрібних частинок ґрунту, що підвищує зсувостійкість споруди. Опір армоґрунтових споруд при землетрусі є результатом взаємодії георешітки та ґрунту, що призводить до створення пружного композитного матеріалу, який поглинає енергію землетрусу, залишаючись неушкодженим.

Габіони складаються з георешіток і геотекстильних матеріалів, заповнених мінеральними матеріалами, і можуть виконувати різні функції: захисні, укріплюючі, утримуючі [6]. Завдяки їх особливостям габіонні конструкції здатні виконувати також роль зворотного фільтра або дренажу.

Габіони перевершують традиційні матеріали високим рівнем адаптації до деформацій ґрунту основи і довгостроковим терміном служби. Проектні рішення з використанням габіонів характеризуються економічністю і простою технологією виготовлення і влаштування, забезпечують ефективний захист об'єкта від ерозії. Екологічно чисті інертні матеріали габіонів стійкі до іржавіння, гниття і корозії навіть в агресивних хімічних середовищах.

Габіони з геосинтетичних матеріалів за конструктивними особливостями та за геометричною формою поділяються на два основні типи:

- 1) габіони (прямокутної або визначеної проектом форми) з такими різновидами:
  - а) тюфяки (матраци) (товщина до 0,6 м);
  - б) габіони (товщина понад 0,6 м);
  - в) мати (збірна конструкція з матраців товщиною до 0,6 м);
  - г) фільтраційні тюфяки (матраци) з геотекстильними прошарками (товщина 0,15 м);
- 2) геосинтетичні туби (далі – геотуби) (габіони циліндричної форми).

Габіони можуть мати різні форми і розміри, що дозволяє виготовити конструкцію з габіонів, яка відповідає поставленим задачам та вимогам конкретних інженерно-геологічних та інших умов. Для виготовлення габіонів, конструкції яких передбачають укладання на внутрішні стінки конструкцій геотекстилю (для запобігання висипання дрібного матеріалу-заповнювача), застосовують геотекстиль, що відповідає вимогам і Технічним умовам заводу-виробника.

Геотуби циліндричної форми з георешіток використовуються для укріплення основ дамб, насипів, зведення захисних гребель, підпірних стінок, аварійного ремонту споруд.

До переваг геотуб та матраців відноситься можливість їх застосування у підводних частинах кріплення берегів водних об'єктів. Використання геотуб особливо ефективно для ремонтних робіт, а також для робіт, що вимагають невідкладного втручання при ліквідації аварій.

Під час спорудження насипів на слабких основах необхідно враховувати, що стійкість слабких ґрунтів багато в чому залежить від швидкості

їхнього завантаження. На такі ґрунти не можна в короткі проміжки часу прикладати великі навантаження, оскільки може виникнути лавинне руйнування водно-колоїдних зв'язків. Опір руйнуванню в слабких глинистих і мулових ґрунтах головним чином залежить від порового тиску води. Цей тиск змінюється під час будівництва, і точне передбачення його величини практично неможливе. У разі підвищення порового тиску і відсутності достатнього дренажу в зоні розташування геоматраца виникає загроза руйнування споруди.

Застосування георешіток та геотекстиля в габіонних конструкціях є одним з найефективніших і універсальних способів не тільки посилення, стабілізації і захисту укосів гребель з ґрунтових матеріалів, берегів водних об'єктів від розмиву, а також укріплення підмостових конусів, опор мостів, регуляційних дамб, дамб обвалування, берегових та інших споруд. Конструкції з габіонів можуть бути використані в різних умовах будівництва берегозахисних кріплень при зведенні як підводних, так і надводних укосів та дна від розмивів та ерозії. Різні типи габіонів (табл. 1) застосовуються при кріпленні укосів гребель з ґрунтових матеріалів [7], дамб на водосховищах та річках, прибережних ділянок морів залежно від енергетичних характеристик об'єктів (висоти хвиль, напрямку вітру, довжини розгону хвиль та характеристик ґрунту берегів), а також можуть застосовуватися у складних інженерно-геологічних умовах [8].

Ефективність роботи габіонів обумовлена їх еластичністю (гнучкістю) і водостійкістю, зносостійкістю і довговічністю. Найбільш ефективно застосовувати габіони для кріплення берегів водних об'єктів, оскільки завдяки їх підвищеній гнучкості берегозахисні конструкції мають можливість повторювати контури прогнозованого розмиву, що виникає з боку моря або іншої водойми, рельєф і конфігурацію місцевості, що дозволяє габіонам щільно прилягати до ґрунту та захищати основу від розмиву.

Наскрізність конструкцій, значна їх маса та гнучкість дозволяють, з одного боку, ефективно гасити кінетичну енергію хвиль, а з іншого – забезпечувати відкочування хвиль без виникнення механічної суфозії та розмиву ґрунту основи під габіонами завдяки використанню геосинтетичних матеріалів.

Вони особливо підходять для протидії посиленій ерозії в середовищах з підвищеною агресивністю (солоня вода, зона викидів стічних вод тощо), а також на слабких ґрунтах [9], на крутих схилах [10] та в зонах дії хвиль. Конструктивні особливості габіонів дозволяють застосовувати їх у різноманітних комбінаціях і поєднаннях та у різноманітних кліматичних умовах.

Будівництво в умовах наявності водного сере-



**Таблиця 1** – Основні типи габіонів та напрямки їх використання

Типи габіонів	Основні напрямки використання
Матраси	кріплення укосів гребель з ґрунтових матеріалів; підпірні стінки в межах берегової лінії або берега річки; захист берегової лінії від розмивів; облицювання каналів; зменшення розмивів опор мостів
Габіони і мати	кріплення укосів гребель з ґрунтових матеріалів, захисних дамб, насипів; кріплення укосів каналів, каналів, водоскидів; захисні покриття від розмивів; зведення підпірних стінок; захист берегової лінії від розмивів; укріплення укосів
Туби	основа (каркас) хвилеломів; основи захисних дамб, гребель, насипів
Фільтраційні матраци (матраци малої товщини, як правило, до 15 см, доповнені прошарками геотекстиля)	захист від розмивів берегів водних об'єктів; застосування фільтраційних матраців та геотекстильних матеріалів на глибоководних ділянках; підстилаючий шар для кріплення укосів з кам'яного накиду
Комбіновані конструкції (системи, зібрані з матрасів, габіонів, матів, геотубів)	утримуючі і берегозахисні конструкції; облицювання і укріплення укосів каналів, берегів; при зведенні фундаментів хвилеломів, молів, напівзагат; влаштування підсиленних основ під насипи, греблі, дамби, підпірні стінки тощо

- екологічність і здатність відновлювати або покращувати природний ландшафт.

Завдяки гнучкості габіонів вони повторюють контури і конфігурацію поверхні ґрунту, захищаючи тим самим від розмиву значно краще, ніж жорсткі кріплення з монолітного бетону, збірного залізобетону або кам'яного накиду. Завдяки високій хімічній та біологічній стійкості геосинтетичні гнучкі габіони найбільш придатні для використання у спорудах, які постійно контактують з солоною (морською) водою, де конструкції з інших матеріалів швидко псується і виходять з ладу.

Основні переваги габіонів (матраців) при використанні їх для кріплення укосів гребель з ґрунтових матеріалів та берегів водних об'єктів:

довища та перезволожених ґрунтів завжди пов'язане з великими складнощами. На даний час існує безліч класичних рішень щодо підсилення основ споруд, берегоукріплення та захисту укосів гідротехнічних споруд. Конструкції з габіонів є альтернативою традиційним методам і дозволяють значно прискорити будівельний процес, полегшити технологію проведення робіт і скоротити витрати, а відсутність металевих елементів значно підвищує корозійну стійкість конструкції, збільшує її термін служби і дозволяє застосовувати габіони в агресивних середовищах (морська вода, стічні води, рідкі відходи промисловості тощо).

До основних критеріїв, яким задовольняють габіони для захисту берегів водних об'єктів, слід віднести:

- надійність та безпека споруди на всіх етапах її будівництва (у відповідності до конкретних інженерно-геологічних і гідрологічних умов їх функціонування, навантажень, впливів та класу наслідків (відповідальності) об'єкта, що захищається);
- мінімальні витрати на будівництво та експлуатацію;
- можливість введення в експлуатацію берегозахисної споруди в найбільш стислі строки;

- а) підвищена гнучкість, яка дозволяє слідувати за місцевими деформаціями дна, схилів (укосів), що викликані розмивом основи, нерівномірними осіданнями, і тим самим призупиняти їх;
- б) можливість змінювати коефіцієнт фільтрації конструкції матеріалом-заповнювачем (при необхідності);
- в) значна шорсткість поверхні;
- г) висока міцність на розтяг;
- д) зносостійкість;
- е) хімічна стійкість до дії річкової та морської води на матеріали берегозахисної споруди;
- ж) можливість використання місцевих матеріалів для будівництва.

Конструкції з габіонів повинні спільно з іншими заходами забезпечувати місцеву стійкість укосів гребель з ґрунтових матеріалів, берегових схилів тощо. При цьому слід враховувати раціональне поєднання конструктивних параметрів габіонів: тип і власну вагу, тип георешітки, матеріал заповнення, планове розміщення (суцільне або переривчасте) на об'єкті укріплення, тип кріплення (анкерне, з упором із габіонів тощо).

Ефективність матраців, у порівнянні з кам'яним накидом для кріплення укосів берегів водних об'єктів отримана на основі тривалого досвіду їх





експлуатації в залежності від гідрологічних умов (табл. 2).

Довжина випуску протирозмивного матрацу в бік водного об'єкту визначається за умови покриття укосу місцевого розмиву, що виникне під час експлуатації об'єкта берегоукріплення, за формулою:

$$L \geq \Delta Z \cdot \sqrt{1 + m_h^2}, \quad (1)$$

де  $\Delta Z$  – прогнозна глибина місцевого розмиву, м;  $m_h$  – коефіцієнт закладання укосу місцевого розмиву, що утворюється (приймається в межах 1,5÷2,0).

Глибина місцевого розмиву  $\Delta Z$  визначається в залежності від виду водного об'єкту, швидкостей водного потоку, параметрів хвиль для обґрунтованого призначення довжини випуску гнучкої кінцевої ділянки кріплення верхового укосу дамби або берега за формулою:

$$\Delta Z = \frac{23 \cdot V^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{g \cdot \sqrt{1 + m_h^2}} - 6 \frac{V_p^2}{g}, \quad (2)$$

де  $V$  – середня швидкість потоку на підході до греблі або дамби, м/с;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\beta$  – кут між напрямком швидкості потоку і лицьовою гранню греблі або дамби (кут атаки), град;  $V_p$  – допустима швидкість для ґрунту основи, в якому відбувається розмив, м/с.

При кріпленні укосів кам'яним накидом чи бетонними (залізобетонними) блоками масу окремого елемента  $m$ , ( $m_z$ ), т, визначають згідно з [11]:

- при розташуванні каменю або блоку на

ділянці укосу від верху споруди до глибини  $z = 0,7 \cdot h_{i\%}$  за формулою:

$$m = \frac{3,16 \cdot k_{fr} \cdot \rho_m \cdot h_{i\%}^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)^3 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \varphi}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{h_{i\%}}}, \quad (3)$$

- при розташуванні каменю або блоку у нижній частині укосу, а саме, на ділянці від  $z \geq 0,7 \cdot h_{i\%}$  і до дна за залежністю:

$$m_z = m \cdot e^{\frac{-7,5 \cdot z^2}{h_{i\%} \cdot \lambda}}, \quad (4)$$

де  $k_{fr}$  – коефіцієнт, який приймається за табл. 3;  $\rho_m$  – густина каменю, т/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – густина води, т/м<sup>3</sup>;  $h_{i\%}$  – розрахункова висота хвилі, м;  $\lambda$  – середня довжина хвилі біля укосу, м;  $\varphi$  – кут нахилу укосу до горизонту, град.

Діаметр каменю кам'яного накиду, приведений до кулі, визначається з формули:

$$D = \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot m}{6 \cdot \rho_m}}. \quad (5)$$

Товщина кам'яного накиду при кріпленні укосів приймається рівною  $t = 3 \cdot D$ .

Товщина монолітних та залізобетонних плит кріплення укосів  $h_{ni}$  визначається за формулою:

$$h_{ni} = \frac{0,07 \cdot \eta \cdot h_{i\%}}{(\rho_m - \rho) \cdot \cos \varphi} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{b_{sl}}}, \quad (6)$$

**Таблиця 2** – Рекомендовані товщини матраців і кам'яного накиду для кріплення укосів берегів водних об'єктів в залежності від гідрологічних умов

Гідрологічні умови		Товщина матраців, м	Параметри кам'яного накиду	
швидкість течії $V$ , м/с	висота хвилі $h$ , м		діаметр каменю, приведений до кулі $D$ , м	товщина кам'яного накиду $t$ , м
до 1,0	до 0,5	0,15	0,12	0,36
до 2,0	до 1,0	0,30	0,25	0,75
до 3,0	до 1,5	0,60	0,35	1,10

**Примітка 1.** Параметри кам'яного накиду визначено за формулою (5) з врахуванням формули (3).

При розрахунку прийнято:  $k_{fr} = 0,025$  (табл. 3),  $\rho_m = 2,6$  т/м<sup>3</sup>,  $\operatorname{ctg} \varphi = 2,0$ .

**Примітка 2.** При однаковій ефективності берегоукріплення товщина кам'яного накиду у 1,8...2,5 рази більша, ніж товщина геоматраців.



**Таблиця 3** – Значення коефіцієнта  $k_{fr}$  залежно від елементів кріплення

Елементи кріплення	Коефіцієнт $k_{fr}$	
	при накиду	при укладанні
Камінь	0,025	-
Звичайні бетонні блоки	0,021	-
Тетраподи та інші фігурні блоки	0,008	0,006

де  $b_{sl}$  – довжина ребра плити або секції в напрямку, нормальному до урізу води, м;  $\lambda$  – довжина хвилі, м;  $h_{1\%}$  – висота хвилі забезпеченості 1 %, м,  $\eta$  – коефіцієнт запасу, що приймається для збірних плит рівним 1,1, а для монолітних – 1,0.

Після введення в експлуатацію берегоукріплень з габйонів вони потребують постійного догляду (контроль відсутності розмивів, зсувів, випадіння матеріалу заповнення, наявності пошкоджень конструкції або георешітки тощо) і своєчасного ремонту чи заміни пошкоджених габйонів.

Підвищення гребня греблі з ґрунтових матеріалів та напірних дамб слід визначати для двох розрахункових ситуацій розташування рівня води у верхньому б'єфі:

- при нормальному підпірному рівні (далі – НПР) або при більш високому рівні, що відповідає пропуску максимального паводку при усталеній розрахунковій ситуації постійних дій (навантажень);
- при форсованому підпірному рівні (далі – ФПР), при пропуску максимального паводку при випадковій (аварійній) розрахунковій ситуації змінних (тимчасових) дій (навантажень).

Підвищення гребня греблі  $h_s$ , м, в обох випадках визначають за формулою [7]:

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{rum1\%} + a, \quad (7)$$

де  $h_{rum1\%}$  – висота нахату вітрових хвиль на укїс ймовірністю перевищення 1 %;  $a$  – запас у підвищенні гребня греблі, м;  $\Delta h_{set}$  – висота вітрового нагону хвиль на укїс, м.

При визначенні перших двох доданків формули (7) забезпеченості швидкості вітру для розрахунку елементів хвиль, нахату і вітровому нагону при усталеній та випадковій (аварійній) розрахункових ситуа-

цій постійних та змінних (тимчасових) дій (навантажень) (відповідно при НПР та ФПР) слід приймати згідно з [7]. Гарантійний технічний запас перевищення верху греблі з ґрунтових матеріалів або огорожувальної дамби над розрахунковим рівнем води  $a$  приймають рівним  $(0,1 \cdot h_{1\%})$ , але не менше 0,5 м, де  $h_{1\%}$  – висота хвилі 1% забезпеченості.

Висоту нахату хвилі на укїс для глибоководної зони  $h_{rum1\%}$  і висоту вітрового нагону хвилі на укїс дамби  $\Delta h_{set}$  визначають згідно з [11].

Для визначення параметрів вітрових хвиль у розрахунковому штормі (середньої висоти хвилі  $\bar{h}$ , м і середнього періоду хвилі  $\bar{T}$ , с) у залежності від довжини розгону, топографії і глибини води необхідно обчислити вхідні безрозмірні параметри  $\frac{g \cdot L}{V^2}$  і  $\frac{g \cdot t}{V}$ .

Далі, за допомогою сімейства кривих, наведених на рис. 2, визначаються наступні параметри  $\frac{g \cdot h}{V^2}$  і  $\frac{g \cdot T}{V}$  та по більшому з них визначають параметри вітрових хвиль  $\bar{h}$  та  $\bar{T}$ .

Середня довжина хвилі  $\bar{\lambda}$  на глибокій воді ( $\frac{d}{\bar{\lambda}} \geq 0,5$ ) визначається за наступною залежністю:

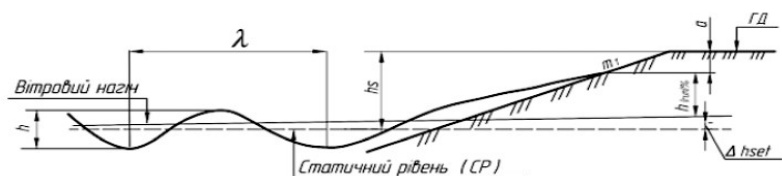
$$\bar{\lambda} = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2 \cdot \pi}, \text{ м} \quad (8)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\bar{T}$  – середній період хвилі, с;  $d$  – глибина води перед греблею або дамбою, м.

Знаючи середні параметри хвиль, можна визначити розрахункову висоту хвилі необхідної розрахункової забезпеченості за формулою:

$$h_{i\%} = \bar{h} \cdot k_{i\%}, \text{ м}, \quad (9)$$

де  $k_{i\%}$  – коефіцієнт, який залежить від безрозмірних параметрів  $\frac{g \cdot L}{V^2}$  і  $\frac{g \cdot d}{V^2}$  та приймається за графіками на рис. 3. Даний коефіцієнт  $k_{i\%}$



**Рисунок 1** – Розрахункова схема для визначення відмітки верху греблі з ґрунтових матеріалів, дамби обвалування або насипу.

$h$  – висота хвилі, м;  $\lambda$  – довжина хвилі, м

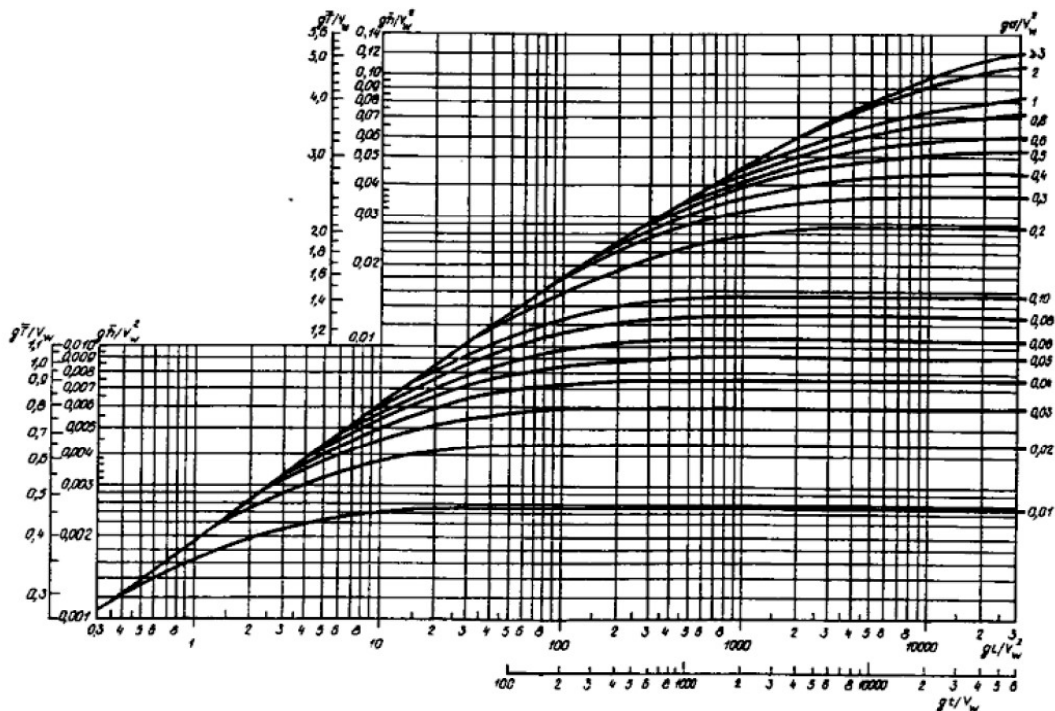


Рисунок 2 – Сімейство кривих для визначення параметрів нерегулярних хвиль

приймається окремо для кожного безрозмірного параметра  $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$  і  $\frac{g \cdot d}{V_w^2}$ . У подальших розрахунках використовується менший з двох коефіцієнтів  $k_{i\%}$ .

Висоту нахату на укїс хвиль забезпеченістю 1% за нахату  $h_{run1\%}$ , м для хвиль, що підходять до укосу фронтально при глибині перед спорудою  $d \geq 2 \cdot h_{1\%}$  слід визначати за формулою:

$$h_{run 1\%} = k_r \cdot k_p \cdot k_{sp} \cdot k_{run} \cdot h_{1\%} \quad (10)$$

де  $k_r$  і  $k_p$  – коефіцієнти шорсткості та водопроникності укосу, що приймаються за табл. 4;

$k_{sp}$  – коефіцієнт, що приймається за табл. 5;

$k_{run}$  – коефіцієнт, що приймається за графіками на рис. 4 в залежності від пологості хвилі

$\frac{\lambda}{h_{1\%}}$ , а також від коефіцієнта закладання укосу  $ctg\varphi$ , де  $\varphi$  – кут нахилу укосу до горизонту, град.

При глибині перед спорудою  $d \leq 2 \cdot h_{1\%}$  коефіцієнт  $k_{run}$  слід приймати для значень пологості хвилі

$\frac{\lambda}{h_{1\%}}$ , наведений на рис. 2 у дужках при глибині  $d = 2 \cdot h_{1\%}$ .

Висоту нахату хвиль на укїс забезпеченістю  $i, \%$  по нахату слід

визначати множенням значення  $h_{run 1\%}$ , отриманого за формулою (9), на коефіцієнт  $k_i$ , що приймається за табл. 6.

Висоту вітрового нагону  $\Delta h_{set}$ , м у формулі (6) слід приймати за даними натурних спостережень, а при їх відсутності допускається визначати за формулою методом послідовних наближень:

$$\Delta h_{set} = k_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot (d + 0.5 \cdot \Delta h_{set})} \cdot \cos \alpha_w \quad (11)$$

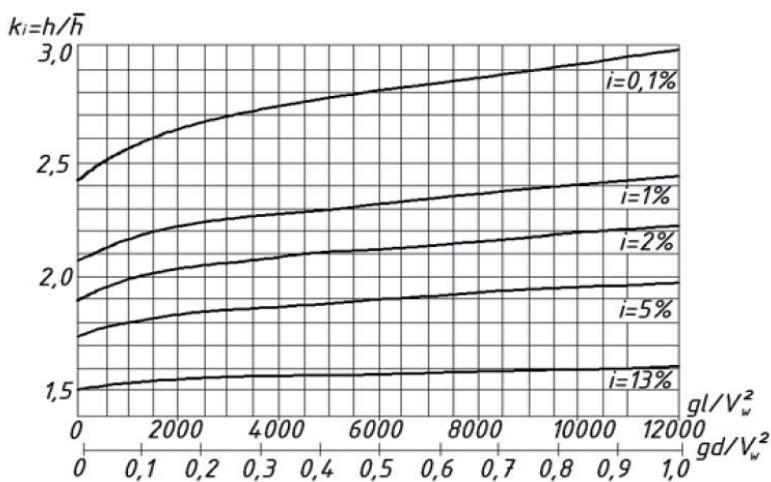


Рисунок 3 – Графіки визначення значень коефіцієнта  $k_i$



**Таблиця 4** – Значення коефіцієнтів  $k_r$  і  $k_p$

Конструкції кріплення укосу	Відносна шорсткість укосу $\frac{r}{1\%}$	Коефіцієнт $k_r$	Коефіцієнт $k_p$
Бетонні (залізобетонні) плити	–	1	0,9
Гравійно-галечникове, кам'яне або кріплення бетонними (залізобетонними) блоками	менш ніж 0,002	1	0,9
	0,005-0,01	0,95	0,85
	0,02	0,9	0,8
	0,05	0,8	0,7
	0,1	0,75	0,6
	більш ніж 0,2	0,7	0,5

**Примітка.** Характерний розмір  $r$ , м слід приймати рівним середньому діаметру зерен матеріалу кріплення укосу або середньому розміру бетонних або (залізобетонних) блоків

**Таблиця 5** – Значення коефіцієнта  $k_{sp}$

Значення	1-2	3-5	Більше 5
Коефіцієнт при $k_{sp}$ швидкості вітру $V_w$ , м/с:			
20 та більше	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
5 та менше	1,0	0,8	0,6

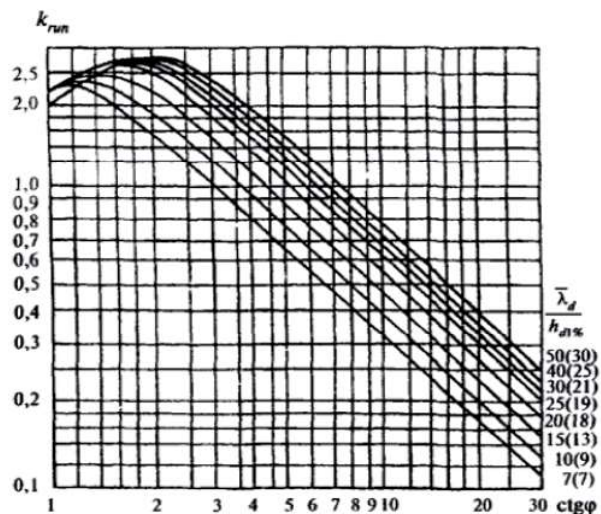
**Примітка.**  $\varphi$  – кут нахилу укосу земляної греблі або дамби до горизонту, град.

де  $\alpha_w$  – кут між поздовжньою віссю водойми та напрямком вітру, град;  $V_w$  – розрахована швидкість вітру, м/с;  $L$  – довжина розгону хвилі, км;  $k_w$  – коефіцієнт, що приймається за табл. 7.

Оскільки усі берегозахисні споруди та дамби знаходяться у мілководній зоні, то при розрахунках на них хвильових навантажень необхідно зробити уточнення розрахункових параметрів хвиль із урахуванням трансформації і рефракції паводку.

При проектуванні габйонів для захисту укосів земляних гребель та дамб, а також берегів водних об'єктів при роботі частин габйонних конструкцій під водою і змінного рівня не повинні виникати такі негативні процеси:

- для водойм (озер, ставків, обводнених кар'єрів, водосховищ, морського узбережжя тощо) – розмив дна біля осно-



**Рисунок 4** – Графіки значень коефіцієнтів  $k_{греб}$



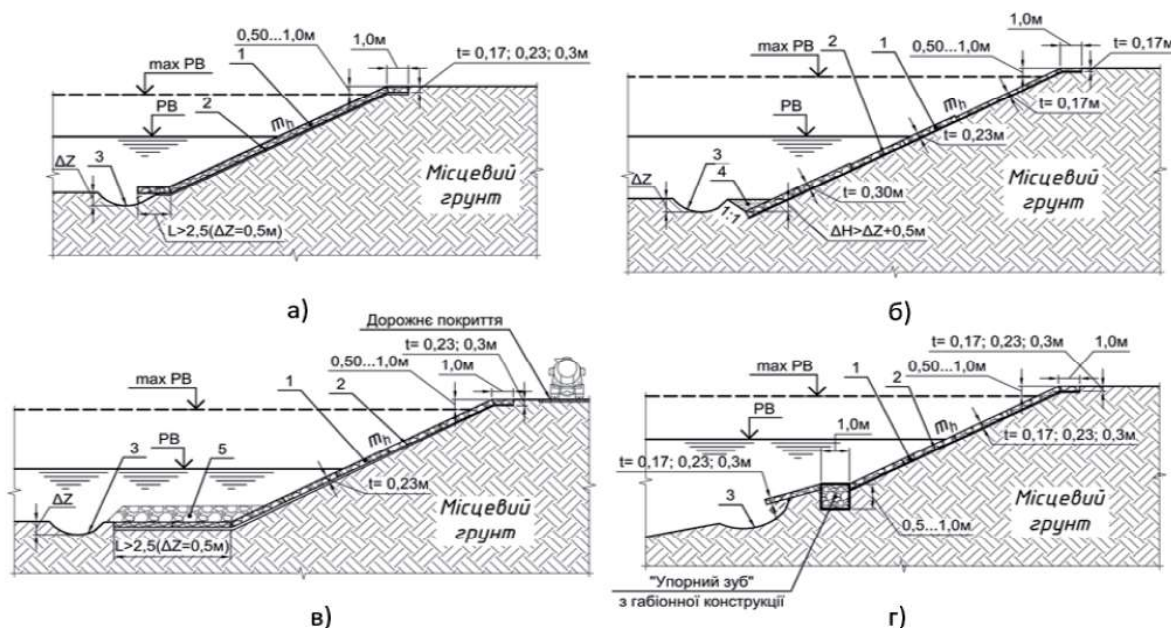


**Таблиця 6** – Значення коефіцієнта  $k_i$

Забезпеченість по нахату $i$ , %	0,1	1,0	2	5	10	30	50
Коефіцієнт $k_i$	1,1	1,0	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

**Таблиця 7** – Значення коефіцієнта  $k_w$

$V_w$ , м/с	20	30	40	50
$k_w$ , $10^6$	2,1	3,0	3,9	4,8



**Рисунок 5** – Схеми захисту укосів від розмивів матрацами із геосинтетичних матеріалів:

а – при коефіцієнті закладання укосу  $m_h > 2$  та значній ширині русла і заплави; б – при різній товщині матраців із заглибленням у ґрунт (з метою захисту від підмиву можливе застосування «упорного зубу» з габйонів або геотубів); в – з привантаженням матраців кам'яним накидом (геотубами); г – з матраців та упором із габйонних конструкцій. 1 – конструкція з матраців; 2 – зворотний фільтр з геотекстиля; 3 – очікувана воронка розмиву; 4 – зворотна засипка; 5 – кам'яний накид або геотуби



**Рисунки 6 ÷ 7** – Кріплення берега акваторії Одеського порту



ви споруди за рахунок дії хвиль;

- б) для водотоків (річки, струмки, канали) – переформування русла через зміну напрямку руху водного потоку.

При будівництві берегозахисних споруд повинні передбачатися спеціальні заходи по попередженню забруднення атмосфери, ґрунтів, води, а також по запобіганню виникнення небажаних розмивів берегів та схилів. Рекомендовані схеми застосування матраців із геосинтетичних матеріалів для захисту укосів земляних гребель та дамб, а також берегів водних об'єктів від розмивів наведені на рис. 5.

Застосування комбінованого кріплення із матраців із геосинтетичних матеріалів та тетраподів для захисту берега акваторії Одеського порту наведено на рис. 6, 7.

## ВИСНОВКИ

Аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві України показав їх ефективність, економічність, довговічність та великі можливості для вирішення багатьох проблем при будівництві, реконструкції та в період експлуатації для захисту укосів земляних гребель та дамб, а також берегів водних об'єктів від розмивів, збільшення несучої здатності слабких ґрунтів. Вони також застосовуються при влаштуванні дренажних конструкцій земляних гребель та дамб, для армування споруд з ґрунтових матеріалів, захисних споруд, для гідроізоляції конструкцій та споруд, протиерозійного захисту.

Ефективність габйонів обумовлена їх еластичністю (гнучкістю) і водостійкістю, зносостійкістю і довговічністю. Найбільш ефективно застосовувати габйони для укріплення укосів земляних гребель та дамб, оскільки завдяки їх підвищеній гнучкості берегозахисні конструкції мають можливість повторювати контури прогнозованого розмиву, що виникає з боку водосховища або іншої водойми, що дозволяє габйонам щільно прилягати до ґрунту ями розмиву.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 7372:2013 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання у дренажних системах (EN 13252:2000, MOD).
2. ДСТУ EN 13249:2005 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для застосування в дорожньому будівництві (за винятком залізничних колій та асфальтових покриттів) (EN 13249:2000, IDT).
3. ДСТУ EN 13253:2017 (EN 13253:2016, IDT) Геотекстиль та вироби, що належать

до геотекстилю. Характеристики, потрібні для використання під час виконання робіт з ерозійного контролювання (зміцнення берегів, зміцнення берегових укосів).

4. ДСТУ EN 15382:2017 (EN 15382:2013, IDT) Геосинтетичні бар'єри. Характеристики, потрібні для використання в транспортній інфраструктурі.
5. ДСТУ EN 13251:2017 (EN 13251:2016, IDT) Геотекстиль та вироби, що належать до геотекстилю. Характеристики, потрібні для використання під час виконання земляних робіт, будівництва фундаментів та підпірних конструкцій.
6. ГБН В.2.3-37641918-558:2016 Габйонні конструкції. Проектування та будівництво.
7. Греблі з ґрунтових матеріалів. Загальні вимоги. ДСТУ XXXX:202X. [Чинні від 202X-0X-0X]. - К.: Мінінфраструктури України, 202X. XX с. (Національний стандарт України).
8. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. ДБН В.1.1-45:2017. [Чинні від 2017-11-01]. - К.: Мінрегіон, 2017. - 43 с. (Державні будівельні норми України).
9. Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах. ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016. [Чинні від 2017-04-01]. К.: Мінрегіон, 2016. - 66 с. (Національний стандарт України).
10. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016. [Чинні від 2017-04-01]. - К.: Мінрегіон, 2016. - 89 с. (Національний стандарт України).
11. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) (Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден)) СНиП 2.06.04-82\*, 1983. – 46 с.

## REFERENCES

1. DSTU 7372:2013. (2013). Geotextiles and related products. Essential characteristics for use in drainage systems (EN 13252:2000, MOD).
2. DSTU EN 13249:2005. (2005). Geotextiles and related products. Essential characteristics for use in road construction (excluding railway tracks and asphalt layers) (EN 13249:2000, IDT).
3. DSTU EN 13253:2017. (2017). Geotextiles and products related to geotextiles. Characteristics required for use in erosion control works (shore reinforcement, slope stabilization) (EN 13253:2016, IDT).
4. DSTU EN 15382:2017. (2017). Geosynthetic



- barriers. Characteristics required for use in transportation infrastructure (EN 15382:2013, IDT).
5. DSTU EN 13251:2017. (2017). Geotextiles and products related to geotextiles. Characteristics required for use during earthworks, foundation construction, and supporting structures (EN 13251:2016, IDT).
  6. GBN V.2.3-37641918-558:2016. (2016). Gabion structures. Design and construction.
  7. DSTU XXXX:202X. Earth dams. General requirements. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (202X). Earth dams. General requirements.
  8. DBN V.1.1-45:20. (2017). Buildings and structures in complex engineering-geological conditions. General provisions.
  9. DSTU-N B V.1.1-40:2016 (2016) Guidelines for designing buildings and structures on weak soils. DSTU-N B V.1.1-40:2016. Ministry of Regional Development, Building, and Housing and Communal Services of Ukraine.
  10. DSTU-N B V.1.1-37:201(2016). Guidelines for the engineering protection of territories, buildings, and structures from landslides and collapses. Ministry of Regional Development, Building, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2016).
  11. SNiP 2.06.04-82\*. (1983). Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice, and from ships).

Стаття надійшла до редакції 01.03.2024 року