

Домбровський Я. І., завідувач лабораторії (ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, 355niisk356@gmail.com), **Шумінський В. Д., к.т.н., провідний науковий співробітник** (ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна), **Хлапук М. М., д.т.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна, khlapuk@ukr.net), **Шумлянський А. О., аспірант** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна, ruslano4ka77@ukr.net)

ГЕОСИНТЕТИЧНІ МАТЕРІАЛИ В ГІДРОТЕХНІЧНОМУ ТА ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Стаття присвячена застосуванню геосинтетичних матеріалів та містить вимоги до проектування і влаштування геосинтетичних гнучких габіонів (матрасів), геотуб у транспортному та гідротехнічному будівництві, охорони навколишнього середовища при новому будівництві та реконструкції об'єктів. Мета роботи – аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному та дорожньому будівництві України з врахуванням досвіду в США та країнах ЄС. В статті розглянуто пропозиції щодо умов застосування геосинтетичних гнучких габіонів, класифікацію, вихідні дані, необхідні для їх проєктування, посилання та бібліографія, а також схеми захисту берегів водних об'єктів від розмивів геосинтетичними гнучкими габіонами. Застосування георешіток та геотекстиля в габіонних конструкціях є одним з найефективніших і універсальних способів не тільки захисту укосів водних об'єктів від розмиву та їх зміцнення, але і посилення, стабілізації і захисту земляного полотна, підмостових конусів, опор мостів, регуляційних дамб, дамб обвалування, берегових та інших споруд. Сучасні геосинтетичні матеріали також мають великі можливості для вирішення багатьох проблем у галузях гідротехніки, транспорту при будівництві, реконструкції та в період експлуатації об'єктів будівництва. Основні сфери застосування геосинтетиків: дорожнє будівництво, дренажні конструкції, армування споруд з ґрунтових матеріалів, захисні споруди,

гідроізоляція конструкцій та споруд, протиерозійний захист. Світовий досвід доводить ефективність застосування сучасних синтетичних матеріалів. Широке застосування геосинтетиків у будівництві обумовлено їх високими фізико-механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрогеологічних факторів, довговічністю (40–120 років) і екологічною безпекою.

Ключові слова: габіон; геотуба; геосинтетичні матеріали; кріплення укосів; матрас; надійність.

ВСТУП

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

Геосинтетичні матеріали – це загальна термінологія для усіх видів синтетичних матеріалів, які включають у себе геотекстилі, геосітки, геомембрани, геокомпозити та георешітки, що використовуються в різних сферах будівництва. Характеристики 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 у галузях гідротехніки, транспорту при будівництві, реконструкції та в період експлуатації об'єктів будівництва [1–4]. Основні сфери застосування геосинтетиків: дорожнє будівництво, дренажні конструкції, армування споруд з ґрунтових матеріалів, захисні споруди, гідроізоляція конструкцій та споруд, протиерозійний захист. Світовий досвід доводить ефективність застосування сучасних синтетичних матеріалів. Рівень споживання геосинтетики в 2008 році в США перевищував 500 млн квадратних м в рік, в Західній Європі – 400 млн квадратних м. У світі випускається близько 380–400 різних видів геосинтетичних матеріалів. Широке застосування геосинтетиків у будівництві обумовлено їхніми високими фізико-механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрогеологічних факторів, довговічністю (40–120 років) і, головним чином, екологічною безпекою. Одними із

перших у світі жорсткі георешітки почала виготовляти у Великобританії та США за спеціальною технологією.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

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

Георешітки є одним з довговічних армуючих синтетичних елементів, що застосовуються у будівництві. Мета їхнього застосування – підвищення міцності і надійності конструкції, її експлуатаційних показників, особливо в умовах сейсмічних впливів. При зведенні споруд різного призначення застосовуються, в основному, одновісні та тривісні георешітки. Одновісні георешітки широко використовуються для зведення армоґрунтових підпірних стін та 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.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одновісні георешітки використовуються при влаштуванні матрасів для укріплення берегів водних об'єктів. Тривісні георешітки мають шестикутну форму отворів, що забезпечує рівномірний розподіл зусиль в оточуючому ґрунті. Впродовж багатьох років підсилення слабких ґрунтів вирішувалося завдяки двовісним георешіткам, але на початку 2000-х років з'явилися тривісні георешітки. Їхня робота набагато перевершує за своїми експлуатаційними характеристиками двовісні георешітки та дозволяє вирішувати наступні задачі: збільшення несучої здатності слабких ґрунтів; витримування високих транспортних навантажень на дороги при зменшенні товщини конструктивних шарів; виключення нерівномірних осідань тощо. 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. Розклинювання ґрунту засипки в отворах георешітки дозволяє їй чинити опір горизонтального зсуву насипу і тим самим збільшити несучу здатність слабого шару

ґрунту. Структурні властивості армованого шару ґрунту залежать від величини навантаження і гранулометричного складу ґрунту засипки. Завдяки правильному підбору співвідношення різних фракцій ґрунту засипки ефект розклинювання підсилюється, запобігаючи тим самим горизонтальному руху частинок, що забезпечує надійність роботи конструкції. 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 дуже пружного композитного матеріалу, який поглинає енергію землетрусу, залишаючись неушкодженим. Георешітки в основах дорожніх покриттів забезпечують додаткову жорсткість і пружність для ущільненого гранульованого шару ґрунту при зменшенні товщини конструктивних шарів, забезпечуючи збереження цілісності доріг під час сейсмічних впливів.

Одноосні георешітки (рис. 1, а) – це поліетиленові решітки з довгими і вузькими отворами. Такі матеріали слугують для вирішення проблем, пов'язаних з будівництвом ґрунтових насипів, можуть використовуватися для створення армоґрунтових підпірних стін.

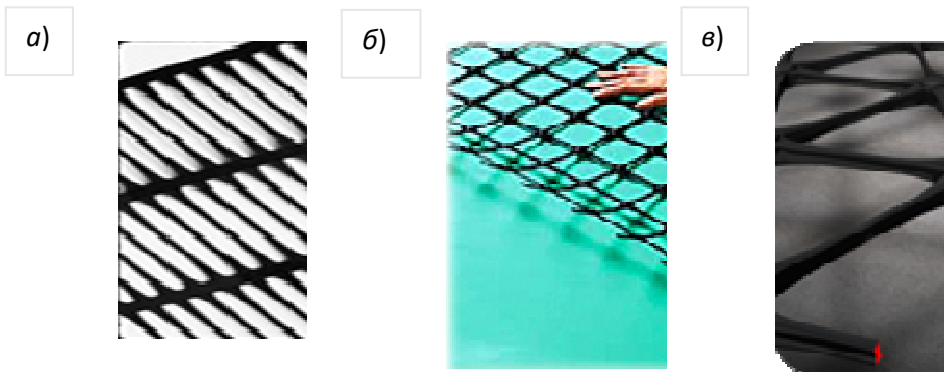


Рис. 1. Георешітки: а – одноосна; б – двоосна; в – тривісна решітка

Двоосні георешітки (рис. 1, б) мають квадратні отвори і однакову міцність в поздовжньому і поперечному напрямку. Такі матеріали використовуються при будівництві на слабких ґрунтах, якщо необхідно посилити несучу здатність слабких ґрунтів і створити жорстку основу, здатну сприймати високі статичні та динамічні навантаження.

При ущільненні інертного матеріалу над георешіткою він частково проникає крізь отвори та забезпечує додаткове зчеплення. Розклинювання дозволяє георешітці чинити опір горизонтальному зсуву насипу і тим самим збільшує несучу здатність слабкого шару ґрунту основи.

Впродовж багатьох років проблеми слабких ґрунтів вирішувалися завдяки двовісним георешіткам, але на початку 2000-х років було розроблено новий вдосконалений матеріал. Форма отворів представляє собою шестикутник, в якому зусилля розподіляється на 360° рівномірно (рис. 1, в). Тривісні георешітки – це високотехнологічні, ефективні георешітки, робота яких набагато перевершує за своїми експлуатаційними характеристиками двоосні георешітки попереднього покоління.

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 у суворих хімічних середовищах.

Габіони складаються з георешіток і геотекстильних матеріалів, заповнених мінеральними матеріалами, і можуть виконувати різні захисні, укріплюючі, утримуючі функції. Завдяки їх особливостям габіонні конструкції здатні виконувати також і роль зворотного фільтра або дренажу (рис. 2).

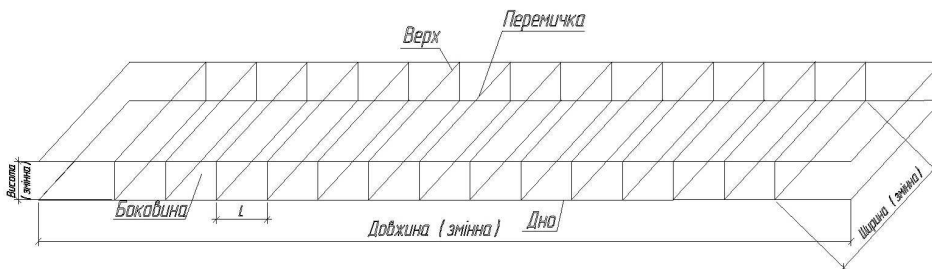


Рис. 2. Схема гнучкого габіону (матрасу) з геосинтетичних матеріалів

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

- 1) габіони (прямокутної або визначеної проектом форми) за

такими різновидами:

- а) матраси (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 матраси 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 відповідатиме поставленим задачам та вимогам конкретних інженерно-геологічних та інших умов. Для запобігання висипання дрібного матеріалу-заповнювача з габіонів, на внутрішні стінки укладають геотекстиль, що відповідає вимогам та 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 (рис. 4).

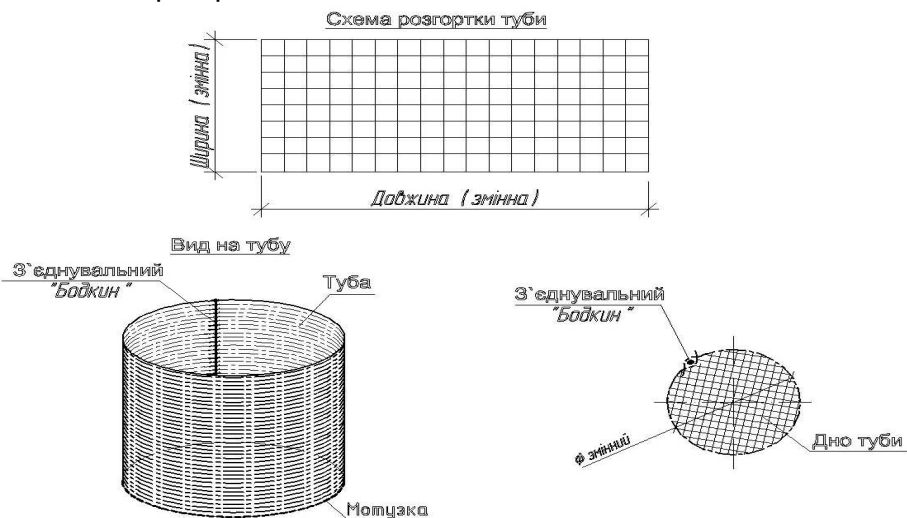


Рис. 3. Схема туби (габiон цилiндричної форми)

Довговічність габіонів з геосинтетичних матеріалів (40–120 років) повинна відповідати проектним строкам експлуатації конструкцій або споруд відповідних класів наслідків (відповідальності).

Дорожнє будівництво. Георешітки та інші геосинтетичні матеріали є перспективними матеріалами у транспортному будівництві, їх використання дозволяє:

- збільшити надійність і довговічність дорожніх конструкцій;
- підвищити технологічність і якість виробництва робіт;
- прискорити виробництво земляних робіт в складних гідрогеологічних умовах;
- зменшити величини деформацій від морозного пучіння;
- підвищити стійкість укосів земляного полотна;
- зменшити обсяги земляних робіт;
- зменшити товщину конструктивних шарів дорожніх покриттів;
- поліпшити водно-тепловий режим насипу;
- знизити нерівномірність осідання насипу;
- зменшити колійність в дорожньому покритті;
- прискорити консолідацію ґрунту насипу;
- використовувати місцеві будівельні матеріали, що не задовольняють певним характеристикам дорожнього будівництва.

Зведення транспортних споруд на слабкій основі створює багато проблем для проєктувальників і будівельників, оскільки таке будівництво завжди пов'язане з великими витратами та значно збільшує терміни виконання робіт. На сьогодні розроблено методи проєктування і будівництва високих насипів на слабких основах із використанням матраців із георешіток [1–4]. Матраци, укладені на основу зі слабких ґрунтів, створюють основу насипу, що має такі особливості:

- жорстку поверхню розділу між слабким ґрунтом і матрацом із засипкою кам'яного матеріалу, що підвищує стійкість насипу;
- жорстку платформу, що гарантує як рівномірний розподіл навантажень на слабкий ґрунт в основі насипу, так і формування в слабкому ґрунті поля напружень приблизно однакової величини.

Ці особливості дають змогу матрацам із георешіток сприятливо впливати на механізми деформації, що реалізуються в слабкому ґрунті основи насипу, і забезпечують стійкість ґрунтової споруди.

Під час спорудження насипів на слабких основах необхідно враховувати, що на стійкість слабких ґрунтів значний вплив спричиняє швидкість їх завантаження. На такі ґрунти не можна в

короткі проміжки часу давати великі навантаження, оскільки може виникнути лавиноподібне руйнування водно-колоїдних зв'язків. Повільне зведення конструкції дозволяє прискорити темп збільшення міцності основи з урахуванням прикладених до насипу навантажень. Сформований і покладений в основу насипу геоматрац утримує від зміщення шари ґрунту, що розташовані вище, в процесі будівництва і після його завершення до тих пір, поки слабкі ґрунти основи не набудуть за рахунок консолідації досить високі механічні характеристики, і тоді пластичні деформації припиняться. Застосування жорстких георешіток знижує величину осідання не менш ніж на 33%, а самі осідання проходять рівномірніше.

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 геосинтетичного матраца виникає загроза руйнування споруди.

При роботі з геосинтетичними матеріалами при будівництві гідротехнічних та транспортних конструкцій слід дотримуватися вимог безпеки та охорони довкілля. При проєктуванні підпірних стінок з габіонів основні розрахункові положення необхідно приймати відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-558 [4].

Підсилення ґрунту георешітками було застосовано в конструкції підпірної стіни, побудованій на підходах до шляхопроводу довжиною 500 м в районі села Нерубайське над Одеськими катакомбами (рис. 4). Армування ґрунту засипки жорсткими одновісними георешітками дозволило повністю зняти бічний тиск ґрунту на фронтальну стіну і опори шляхопроводу. Конструкція підпірної стіни із георешіток забезпечила прискорення консолідації ґрунту насипу у часі, а додаткові геосинтетичні шари рівномірно розподіляли навантаження та утримували насип від втрати стійкості. Такий системний підхід забезпечив проєктну надійність конструкції та дозволив прискорити темпи будівництва.



Рис. 4. Підпірні стіни з армуванням ґрунту георешітками

Досвід застосування геоматраців показав, що напруження від влаштованого насипу необхідно порівнювати із прогнозованою несучою здатністю ґрунту основи і виходити із забезпечення необхідного коефіцієнта запасу стійкості насипу. Якщо коефіцієнт запасу стійкості менше 1,0, слід розглядати два варіанти:

- збільшення міцнісних характеристик слабого ґрунту в основі за рахунок консолідації ґрунту під матрацом, що завершується порівняно швидко завдяки кам'яній засипці матраців, яка є чудовим дренажем;

- організація стадійного будівництва, коли насип спочатку зводиться тільки до висоти, при якій гарантовано забезпечується стійкість конструкції, а потім після завершення консолідації слабого ґрунту після підвищення його міцнісних характеристик проводять відсіпання насипу.

Гідротехнічне будівництво. Застосування георешіток та геотекстиля в габійних конструкцій є одним з найефективніших і універсальних способів не тільки захисту укосів водних об'єктів від розмиву, але і посилення зміцнення, стабілізації і захисту земляного полотна, підмостових конусів, опор мостів, регуляційних дамб, дамб обвалування, берегових та інших споруд [5–7]. Конструкції з габіонів можуть бути використані в різних умовах будівництва берегозахисних споруд при зведенні як підводних, так і надводних укосів та дна розмивів і ерозії. Їх застосування залежить від енергетичної характеристики водних об'єктів біля прибережних ділянок морів, водосховищ та річок (висоти хвиль, напрямку вітру, довжини розгону хвиль та характеристик ґрунту берегів). Габіони також можуть використовуватися для зведення споруд різного призначення з можливістю їх застосування у складних інженерно-геологічних умовах, а саме:

- при зведенні фундаментів хвилеломів, молів, напівзагат;
- для захисту укосів захисних дамб, гребель, насипів;
- для кріплення укосів каналів;
- як захисне покриття для підводних трубопроводів та випусків стічних вод;
- при стабілізації схилів, укосів, дюн;
- для ізолювання небезпечних донних відкладень.

Ефективність габіонів обумовлена їх еластичністю (гнучкістю) і водостійкістю, зносостійкістю і довговічністю. Найбільш ефективно застосовувати габіони для укріплення 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.

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 подальшого розмиву ґрунту основи під габіонами.

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

Будівництво в умовах наявності водного середовища та перезволожених ґрунтів завжди пов'язане з великими складнощами. На сьогодні 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).

Запропоновано розглянути варіанти реконструкції дамби Хаджибейського лиману [8; 9], будівництво якої почалося у 1932 році в складних інженерно-геологічних умовах, з використанням інноваційних технологій (капсулювання піску та щебня в геотекстильних тубах) та матраців (габіонів) з георешіток (рис. 5).

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) [10];

- мінімальні витрати на будівництво та експлуатацію;

- можливість введення в експлуатацію берегозахисної споруди в найбільш стислі строки;
- екологічність і здатність відновлювати або покращувати природний ландшафт.

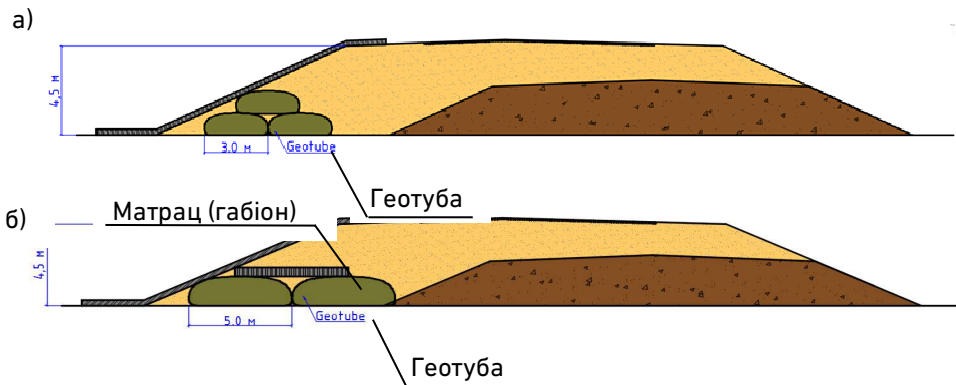


Рис. 5. Схеми варіантів реконструкції дамби Хаджибейського лиману з використанням інноваційних технологій: а – комбінації матраців і геотуб; б – комбінації матраців, геотуб і георешіток

Завдяки гнучкості габионів вони повторюють контури і конфігурацію поверхні ґрунту, щільно прилягають до нього, 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 габиони найбільш придатні для використання у спорудах, які постійно контактують з солоною (морською) водою, де конструкції з інших матеріалів швидко псуються і виходять з ладу.

Основні переваги габионів (матраців) при використанні їх для кріплення берегів водних об'єктів:

а) підвищена гнучкість, яка дозволяє повторювати місцеві деформації дна, схилів (укосів), викликаними 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 берегових схилів, укосів споруд 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 залежно від гідрологічних умов наведено в табл. 1.

Довжина випуску протирозмивного матрацу в бік водного об'єкта визначається із умови покриття укусу 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 ΔZ – глибина місцевого розмиву, м;

m_h – коефіцієнт закладання укусу ями розмиву (приймається в межах 1,5-2,0).

Глибина місцевого розмиву ΔZ визначається залежно від виду водного об'єкта, швидкостей водного потоку, параметрів хвиль для обґрунтованого призначення довжини випуску гнучкої кінцевої ділянки кріплення верхового укусу дамби або берега за формулою:

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

де V – середня швидкість потоку на підході до дамби, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

β – кут між напрямком швидкості потоку і лицьовою гранню дамби (кут атаки);

V_p – допустима швидкість для ґрунту основи, в якому відбувається розмив, м/с;

m_h – коефіцієнт закладання укусу місцевого розмиву, що утворюється;

ΔZ – прогнозна глибина місцевого розмиву, м.

При кріпленні укосів кам'яним накидом чи бетонними (залізобетонними) блоками, масу окремого елемента m , (m_z), т, слід визначати наступним чином:

– при розташуванні каменю або блоку на ділянці укусу від верху споруди до глибини $Z = 0,7h_{т\%}$ за формулою:

Таблиця 1

Рекомендовані товщини матраців і кам'яного накиду для кріплення укусів 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 D , м приведений до кулі	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. 2), $\rho_m=2,6$ т/м³, $ctg\varphi=2,0$.

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

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

– при розташуванні каменю або блоку у нижній частині укусу, а саме, на ділянці від $Z > 0,7h_{т\%}$ і до дна за залежністю:

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

де k_{fr} – коефіцієнт, який приймається за табл. 2;

ρ_m – густина каменю, т/м³;

ρ – густина води, т/м³;

$h_{т\%}$ – розрахункова висота хвилі, м;

λ – середня довжина хвилі біля споруди, м;

φ – кут закладання укусу, град.

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

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

Таблиця 2

Значення коефіцієнта k_{fr} залежно від елементів кріплення

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

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

При будівництві берегозахисних споруд повинні передбачатися спеціальні заходи по попередженню забруднення атмосфери, ґрунтів, води, а також по запобіганню виникнення небажаних підмивів та розмивів берегів та схилів. Рекомендовані схеми застосування матраців із геосинтетичних матеріалів для захисту укосів водних об'єктів від розмивів наведено на рис. 6.

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

Особливо гостро проблема ліквідації розмивів гідротехнічних споруд стоїть при зведенні морських та річкових поперечних споруд (хвилеломів, траверс, півзагат) і поздовжніх берегозахисних споруд. Для протидії розмивам, хвильовим навантаженням та значним швидкостям течії води при використанні кам'яного накиду вага одного каменю може досягати трьох і більше тон, що суттєво ускладнює роботи. Розробка кар'єрів і транспортування каменю веде до значного подорожчання проекту (особливо, якщо на місці будівництва кар'єри каменю відсутні). Пісок, який на сьогодні є одним із самих дешевих будівельних матеріалів і може доставлятися на ділянки будівництва у великій кількості, у водному середовищі дуже легко піддається розмиву і схильний до ерозії під впливом течії і хвиль.

Сьогодні існує чимало інноваційних технологічних рішень, що дозволяють отримати значну економію коштів та часу, зробити конструкцію більш технологічною і ремонтно-придатною.

Капсульований (взятий в обойму або оболонку) пісок та взятий в обойму з жорстких георешіток щєбінь, дозволяють вирішувати широкий ряд технічних питань. Можлива ефективна комбінація конструкцій з капсульованого піску і кам'яних матраців.

Використання цих технологічних рішень має велику екологічну і економічну переваги: значно зменшується потреба в кам'яних матеріалах, знижуються транспортні витрати і обсяги використання підйомно-транспортних механізмів, прискорюється будівництво.

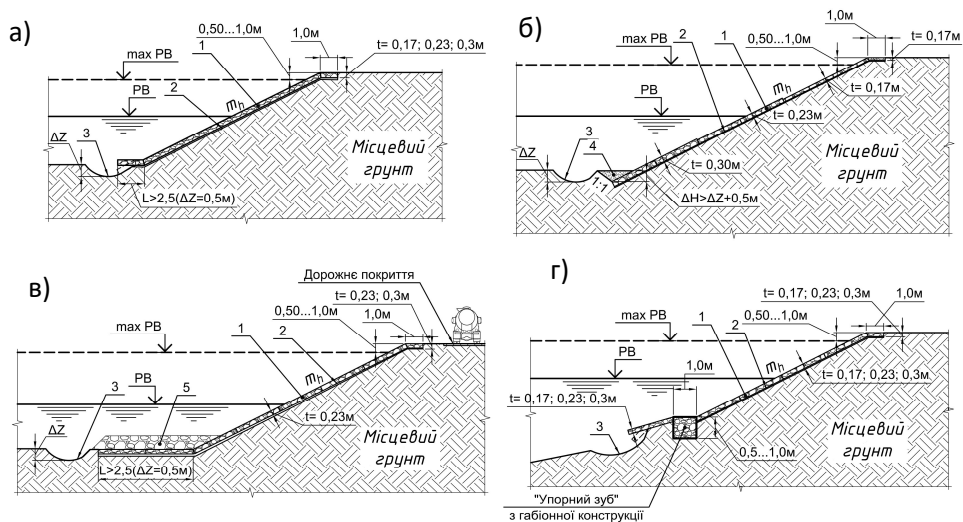


Рис. 6. Схеми берегоукріплення матрацами із геосинтетичних матеріалів: 1 – конструкція з матраців; 2 – зворотний фільтр з геотекстиля; 3 – очікувана воронка розмиву; 4 – зворотна засипка; 5 – кам'яний накид або геотуби

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 зуба» з габіонів або геотубів);

в – з привантаженням матраців кам'яним накидом (геотубами);

г – з матраців та упором із габіонних конструкцій

Для забезпечення нормальної роботи нижнього б'єфу гідроелектростанції необхідно ліквідувати розмиви дна та берегів, що виникають при збійності течій, шляхом заповнення їх, наприклад, кам'яним матеріалом, який є найбільш ефективним при дії значних швидкостей течії, оскільки повністю заповнює та створює щільну

структуру в ямі розмиву, що утворилася. Але доставка великих обсягів кам'яного матеріалу, а також укладання його в яму розмиву при значних швидкостях течії призведе до великих технічних складностей (забезпечення щільної укладки каменю в яму розмиву), значної тривалості та високої вартості робіт.

Для виключення розмивів берегів їх слід закріплювати матрацами з геотекстилю. Такі матраци мають велику площину дотику і значну вагу, що забезпечує надійний захист берегів від розмиву. Конструкція матраців з одновісних жорстких решіток наведена на рисунку 7, а комбіноване кріплення акваторії Одеського морського порту із застосуванням матраців та тетраподів – на рис. 8.

Для виключення виносу кам'яного накиду з ями розмиву або його переміщення потоком води, зменшення габаритів каменю у кам'яному накиді його необхідно капсулювати (розмістити в оболонці). В якості таких оболонок можна використовувати кошики вагою до 1 т або мішки з полімерних матеріалів, зокрема з жорстких георешіток вагою від 3 до 9 т. Заповнення може проводитися за допомогою обладнання, встановленого на плавзасобах або вручну залежно від доступних умов.

Застосування капсульованого ґрунту (геобегів) полягає в тому, що ґрунт, розміщений в замкнуте середовище з міцного матеріалу, позбавлений можливості бокового розширення. Після укладки та деформації геобега під дією гравітації та тиску води, ґрунт буде нести навантаження поки вони не перевищать межу міцності самого матеріалу геобегу [11].

Геобег виготовляється зі штучної тканини із високоміцними швами, які дозволяють засипати пісок або інший відповідний матеріал. Вони спроектовані так, щоб забезпечувати міцність, довговічність і герметичність для роботи під час встановлення і протягом всього терміну служби. Після заповнення піском або іншим відповідним матеріалом відкрита сторона захисної оболонки герметизується за допомогою швів (рисунок 9). Геобег має високу міцність на розрив, стійкість до стирання, захист від ультрафіолету і довговічність, його можна використовувати для заміни каменю при будівництві дамб або для робіт по захисту від ерозії. Використання геобегів забезпечує специфічні переваги, як-от:

- відмова від застосування каменю (залежить від неможливості доставки або відсутності кам'яного матеріалу);
- можливість використання спільно з іншими конструкціями з

обмеженим ризиком ушкоджень;

- легкість переміщення, якщо в них немає більше необхідності.



Рис. 7. Конструкції матраців з одновісних жорстких решіток

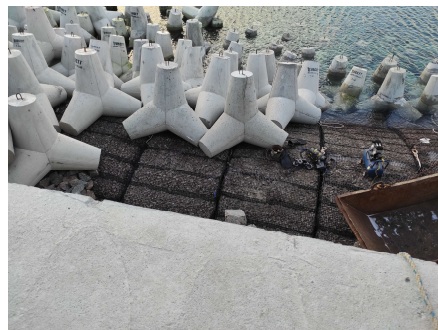
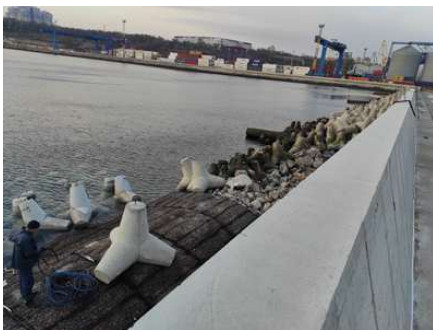


Рис. 8. Комбіноване кріплення берега із застосуванням матраців та тетраподів



Рис. 9. Використання геобегів для виготовлення хвилеломів

При застосуванні кріплень схилів та укосів берегів водних об'єктів від розмивів з використанням геосинтетики слід виважено підходити до правильного вибору типу геосинтетичних матеріалів, адже можливі негативні випадки їх застосування, що наведені на рис. 10.



Рис. 10. Негативні випадки застосування геосіток при кріпленні укосу схилу

Висновки

1. Основні сфери застосування геосинтетиків: в гідротехнічному та дорожньому будівництві, в дренажних конструкціях, для армування споруд з ґрунтових матеріалів (гребель, підпірних стінок), в берегозахисних спорудах (кріплення укосів берегів, хвилеломи), для протиерозійного захисту.

2. Аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному та транспортному будівництві України показав їх ефективність і економічність та великі можливості для вирішення багатьох проблем при будівництві, реконструкції та в період експлуатації різних об'єктів будівництва, збільшення несучої здатності слабких ґрунтів, витримування високих транспортних навантажень на дороги при зменшенні товщини конструктивних шарів, виключення нерівномірних осідань ґрунтів основи.

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

1. 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). 2. ДСТУ 7372:2013. Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання у дренажних системах (EN 13252:2000, MOD). 3. ДСТУ EN ISO 9864:2008. Геосинтетика. Метод випробовування для визначання поверхневої щільності геотекстилю та віднесених до геотекстилю виробів (EN ISO 9864:2005, IDT). 4. ГБН В.2.3-80

37641918-558:2016. Габіонні конструкції. Проектування та будівництво. **5.** Гуртина Л. Г., Харін П. Л., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. Ефективність роботи споруд з ґрунтових матеріалів, підсилених георешітками, з врахуванням сейсмічних впливів. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки.* 2019. Вип. 2 (86). С. 28–44. **6.** Плитус Р. М., Гаріян О. В., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. Використання геосинтетичних та місцевих матеріалів для боротьби з розмивами. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки.* 2020. Вип. 4 (92). С. 63–80. **7.** Гуртина Л. Г., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. Застосування армування ґрунтових споруд в гідротехнічному та цивільному будівництві. *Гідроенергетика України : журнал.* 2019. № 1–2. С. 72–75. **8.** Проект «Першочергові заходи щодо запобігання руйнуванню дамби Хаджибейського лиману в м. Одесі. Капітальний ремонт тіла дамби». Одеса, 2017. **9.** Анісімов К. І., Гуртина Л. Г., Шумінський В. Д. Проблеми, пов'язані з реконструкцією дамби Хаджибейського лиману в м. Одеса. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* 2020. Одеса : ОДАБА, 2020. Вип. 79. С. 135–144. **10.** Фаренюк Г. Г., Вайнберг О. І., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. Надійність та безпека гідротехнічних споруд в умовах тривалої експлуатації. *Наука та будівництво : журнал.* 2019. № 2 (20). С. 4–18. **11.** ТУ У 20.1-21483639-005:2019. Оболонки капсульні геосинтетичні гнучкі – геобеги. Технічні умови.

REFERENCES:

1. DSTU EN 13249:2005. Heotekstyl ta vidneseni do heotekstyliu vyroby. Neobkhdni kharakterystyky dlia zastosuvannya v dorozhnomu budivnytstvi (za vyniatkom zaliznychnykh kolii ta asfaltovykh pokryttiv) (EN 13249:2000, IDT).
2. DSTU 7372:2013. Heotekstyl ta vidneseni do heotekstyliu vyroby. Neobkhdni kharakterystyky dlia vykorystannia u drenazhnykh systemakh (EN 13252:2000, MOD).
3. DSTU EN ISO 9864:2008. Heosyntetyka. Metod vyprovovuvannya dlia vyznachannia poverkhnevoi shchilnosti heotekstyliu ta vidnesenykh do heotekstyliu vyrobiv (EN ISO 9864:2005, IDT).
4. HBN V.2.3-37641918-558:2016. Habionni konstruktsii. Proektuvannya ta budivnytstvo.
5. Hurtyna L. H., Kharin P. L., Khlapuk M. M., Shuminskyi V. D. Efektyvnist roboty sporud z gruntovykh materialiv, pidsylenykh heoreshitkamy, z vrakhuvanniam seismichnykh vplyviv. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky.* 2019. Vyp. 2 (86). S. 28–44.
6. Plytus R. M., Hariian O. V., Khlapuk M. M., Shuminskyi V. D. Vykorystannia heosyntetychnykh ta mistsevykh materialiv dlia borotby z rozmyvamy. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky.* 2020. Vyp. 4 (92). S. 63–80.
7. Hurtyna L. H., Khlapuk M. M., Shuminskyi V. D. Zastosuvannya armuvannya gruntovykh sporud v hidrotekhnichnomu ta tsyvilnomu budivnytstvi. *Hidroenerhetyka Ukrainy : zhurnal.* 2019. № 1–2. S. 72–75.
8. Proekt «Pershocherhovi zakhody shchodo zapobihannya

ruinuvanniu damby Khadzhybeiskoho lymanu v m. Odesi. Kapitalnyi remont tila damby». Odessa, 2017. **9**. Anisimov K. I., Hurtyna L. H., Shuminskyi V. D. Problemy, poviazani z rekonstruktsiieiu damby Khadzhybeiskoho lymanu v m. Odesa. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2020. Odesa : ODABA, 2020. Vyp. 79. S. 135–144. **10**. Farenjuk H. H., Vainberh O. I., Khlapuk M. M., Shuminskyi V. D. Nadiinist ta bezpeka hidrotekhnichnykh sporud v umovakh tryvaloï ekspluatatsii. *Nauka ta budivnytstvo : zhurnal*. 2019. № 2 (20). S. 4–18. **11**. TU U 20.1-21483639-005:2019. Obolonky kapsulni heosyntetychni hnuchki – heobehy. Tekhnichni umovy.

Domdrovskiy Y. I., Head of the Laboratory (State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine),
Shuminskyi V. D., Candidate of Engineering (Ph.D.), Leading Researcher (State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine), **Khlapuk M. M., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne) **Shumlianskyi A. O., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

GEOSYNTHETIC MATERIALS IN HYDROTECHNICAL AND TRANSPORT CONSTRUCTION

The article is devoted to the application of geosynthetic materials and contains requirements for the design and installation of geosynthetic flexible gabions (mattresses), geotubes in transport and hydraulic construction, environmental protection during new construction and reconstruction of objects. The purpose of the work is to analyze the use of geosynthetic materials in hydraulic engineering and road construction of Ukraine, taking into account the experience in the USA and EU countries. The article deals with proposals regarding the conditions of use of geosynthetic flexible gabions, classification, initial data necessary for their design, references and bibliography, as well as schemes for protecting the shores of water bodies from erosion by geosynthetic flexible gabions. The use of geogrids and geotextiles in gabion structures is one of the most effective and universal ways not only to protect the slopes of water bodies from erosion and strengthen them, but also to strengthen, stabilize and protect the ground surface, underbridge cones, bridge supports, regulatory dams, embankment dams, coastal and other structures. Modern

geosynthetic materials also have great opportunities for solving many problems in the fields of hydraulic engineering, transport during construction, reconstruction and during the operation of construction objects. The main areas of application of geosynthetics: road construction, drainage structures, reinforcement of structures from soil materials, protective structures, waterproofing of structures and structures, anti-erosion protection. World experience proves the effectiveness of using modern synthetic materials. The wide use of geosynthetics in construction is due to their high physical and mechanical properties: strength, resistance to the influence of climatic and hydrogeological factors, durability (40–120 years) and environmental safety.

***Keywords:* gabion; geotube; geosynthetic materials; fastening slopes; mattress; reliability.**