



ГУРТІНА Л.Г., головн. інж., ТОВ «УНІПРОМ», м. Київ,
ХЛАПУК М.М., докт. техн. наук, Директор Навчально-наукового ін-ту водного господарства та природооблаштування Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП), м. Рівне,
ШУМІНСЬКИЙ В.Д., канд. техн. наук, провідний науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ АРМУВАННЯ ГРУНТОВИХ СПОРУД В ГІДРОТЕХНІЧНОМУ ТА ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

В статті розглянуто застосування синтетичних матеріалів, які представлені геотекстилем, геосітками, геомембранами, геокомпозитами та георешітками, що використовуються в різних сферах будівництва. Особливу увагу приділено георешіткам, особливостям їх роботи та використанню їх як армуючих елементів в спорудах з ґрунтових матеріалів різного призначення, в різних галузях народного господарства, обґрунтовано ефективність та надійність їх роботи, включаючи роботу в сейсмічних регіонах. Головна мета застосування георешіток – підвищення міцності і надійності конструкції, її експлуатаційних показників, особливо в умовах сейсмічних впливів.

Представлені розрахунки армованих споруд з ґрунту, які виконуються в два етапи: етап 1 включає розрахунок загальної (зовнішньої) стійкості споруди, при якому визначаються габаритні розміри споруди з армованого ґрунту та довжина георешіток. Етап 2 стосується розрахунку на місцеву (внутрішню) стійкість (метод «подвійного клину»), при якому перевіряється міцність та вертикальний крок георешіток, міцність з'єднання георешіток з облицюванням. При влаштуванні споруд в сейсмічних районах в розрахунках стійкості враховуються сейсмічні дії. Представлені результати натурних випробувань споруд з ґрунтових матеріалів, підсилених георешітками, в умовах сейсмічних впливів та позитивний досвід їх експлуатації в багатьох країнах в сейсмічних регіонах, які можуть бути використані при прийнятті технічних рішень з підвищення ефективності роботи таких споруд і з вибору конструктивних рішень їх захисту від сейсмічних впливів.

К л ю ч о в і с л о в а: георешітки, армування георешітками споруд з ґрунту, армоґрунтові підпірні стінки, стійкість, сейсмічні впливи, натурні випробування.

Якщо провести невеликий екскурс в історію армування ґрунтових споруд, можна переконатися, що вона існує більше 7 тисяч років. Армування глини очеретом або соломою при спорудженні будинків згадується в Біблії (23-я книга Старого завіту). Відомо, що споруди, побудовані з використанням такої технології, існували в V-му і IV-му тисячоліттях до н. е. У минулому найбільш часто споруди з армованого ґрунту (дамби) застосовувалися для регулювання русел річок уздовж транспортних шляхів. У Стародавньому Римі, використовуючи армування ґрунту очеретом, побудовані вздовж Тибру земляні дамби для захисту від повеней. Відомі приклади створення систем дамб з використанням армування їх очеретом і глинистим заповнювачем в долинах річок Тигр і Євфрат, значно більш ранні, ніж у Стародавньому Римі. Американський вчений К. Рід на початку 20-го століття отримав патент на армування конструкцій дамб. Для армування кам'яного накиду на низових гранях гребель в Каліфорнії К. Рід використовував залізничні рейки.

Підпірні стінки, круті укріплені укоси з використанням жорстких георешіток Тенсар вже більше сорока років радують своєю красою і легкістю. І навіть найбільші скептики, прихильники академічних принципів будівництва таких споруд, змушені визнати красу, надійність, довговічність і екологічність армоґрунтових споруд.

Сьогодні в Україні ТОВ «УНІПРОМ» спільно з англійською компанією «Tensar», є лідерами у проектуванні та будівництві армоґрунтових підпірних стін і стоянів мостів. Ефективність, надійність роботи таких споруд та екологічність підтверджені їх довгостроковою експлуатацією навіть в найскладніших геологічних, гідрогеологічних і гідрологічних умовах. Прикладом цього служать побудовані об'єкти, які вже протягом багатьох років відмінно показали себе в експлуатації. Південні регіони України знаходяться в зоні підвищеної сейсмічної активності. Більше 30 об'єктів з армоґрунтовими спорудами, підсилені георешітками Tensar, були побудовані за безпосередньої участі компанії ТОВ «УНІПРОМ» в Одеській області, потенційно схильної до землетрусів (сейсмічні впливи до 8-9 балів за шкалою MSK-64). Це транспортна розв'язка в районі села Нерубайське, шляхопровід в Іллічівському морському порту (Зерновий термінал), Куяльницький шляхопровід, підпірні стінки в Одеському морському порту, підсилення слабких ґрунтів в основі контейнерних терміналів в Одеському та Іллічівському морських портах, укріплення крутих укосів з використанням жорстких георешіток Tensar на автодорозі «Київ-Одеса» та багато інших.

На Полтавщині на перетині автодоріг Н-31 «Дніпро-Решетилівка» та М-22 «Полтава-Олександрія» триває будівництво дворівневої транспортної розв'язки з влаштуванням підпірної стінки системи Tensar Wall з боку Кременчуга (Рис. 1).



Рис. 1. Будівництво дворівневої транспортної розв'язки із застосуванням системи Tensar Wall на перетині автодорог Н-31 «Дніпро-Решетилівка» (а) та М-22 «Полтава-Олександрія» (б)



Рис. 2. Підпірна стінка із застосуванням системи Tensar TW1 на швидкісній автомагістралі в Тайвані (Dibba, UAE.): а – дренажні отвори в підпірній стінці; б – під час проходження повені



Рис. 3. Зведення підпірної стінки на 92 км автодороги «Київ-Одеса»: а – загальний вид на схил; б – випір ґрунту на автодорозі; в – влаштування георешітки; г – влаштування підпірної стінки з георешіток

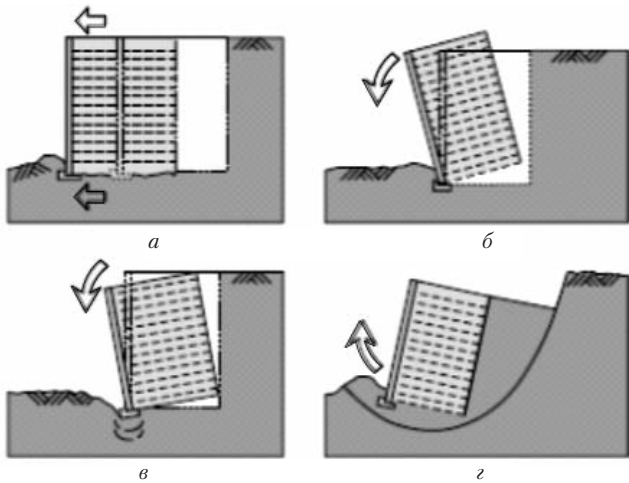


Рис. 4. Схеми до розрахунку споруд з армованого ґрунту за етапом 1: а – на зсув; б – на перекидання; в – на втрату несучої здатності; з – на втрату загальної стійкості

При зведенні армоґрунтових підпірних стін, крім інженерних розрахунків, проводиться контроль за пошаровим укладанням блоків і георешіткою, якістю облицювальних блоків. Все це підвищило довіру до споруд з ґрунту, посилених георешітками. Інноваційні технології виробництва жорстких георешіток і методика розрахунку стійкості підпірних споруд із застосуванням армоґрунту в свою чергу, останнім часом призвели до значного збільшення висоти підпірних стін. Сьогодні вперше в Україні на кількох транспортних розв'язках будуються підходи до шляхопроводів з вертикальними підпірними стінками системи Tensar Wall висотою 12 метрів і більше. Укріплення схилів, що перевищують висоту 20 м і підпірних стін висотою до 60 м були успішно завершені в останні роки.

Нова автомагістраль в Тайвані пролягає по пересіченій місцевості, із значним впливом вітру і високих температур. Численні яри і долини, утворені після проливних злив, перетинають ландшафт. Система Tensar TW1, була використана при зведенні підпірної стіни на підході до мостового переходу через долину. На ділянках з тимчасовими водними потоками для відведення зливових вод в системі Tensar TW1 були передбачені водопропускні труби на різних відмітках для пропуску води під час повеней (Рис. 2).

Досить ефективно зарекомендували себе підпірні системи Tensar при використанні їх як протизсувні споруди. Проблему стійкості схилів (укосів), навіть локальної стійкості, складно вирішити із застосуванням тільки однієї будь-якої конструкції або технології. Зазвичай, це комплексне інженерне рішення, яке включає конструктивне рішення, здатне протидіяти зсувному тиску, дренажні пристрої і належну експлуатацію.

При проведенні протизсувних заходів на 92-му кілометрі траси М05 «Київ-Одеса» була порушена система водовідведення, що призвело до перезволоження ґрунтів та обвалення схилу з руйнуванням існуючої бетонної стінки та випромом ґрунту. Зведення на її місці армоґрунтової підпірної стінки дозволило скоротити витрати по відновленню об'єкта. Після завершення будівництва постійно ведеться моніторинг об'єкта і контроль за вертикальними і горизонтальними переміщеннями. При належному догляді за системою водовідведення і дренажів схил залишається стабільним протягом вже більше 8-ми років (Рис. 3).

Відомими вченими та інженерами в галузі сейсмології (Д. Джоунс [1], Тацуока [2], Майк Добі [3] та іншими дослідниками [4]) було досліджено та доведено, що утворений новий (композитний) матеріал з ґрунту, підсиленого жорсткими георешітками Tensar, при сейсмічних діях поводить себе як пластичний матеріал і поглинає енергію землетрусу, залишаючись неушкодженим, завдяки сумісній роботі (взаємодії) георешітки з ґрунтом. Це забезпечує найважливішу вимогу щодо надійності роботи конструкцій, особливо в умовах сейсмічних впливів.

Ґрунт має низьку міцність на розтяг, але високу міцність на стиск. Мета армування ґрунтової споруди полягає в тому, щоб сприйняти розтягуючі зусилля та/або зрізаючі зусилля в конструкції, понижуючи, таким чином, навантаження, які могли б змусити ґрунт деформуватися під дією розтягуючих і дотичних напружень. Тут має місце деяка подібність до армування бетону (залізобетон), оскільки армована маса ґрунту може розглядатися як композитний матеріал з підвищеними порівняно з ґрунтом або з бетоном міцністю, особливо при розтягу і зсуву.

Для надійної роботи георешіток в таких конструкціях вони повинні відповідати вимогам нормативних докумен-

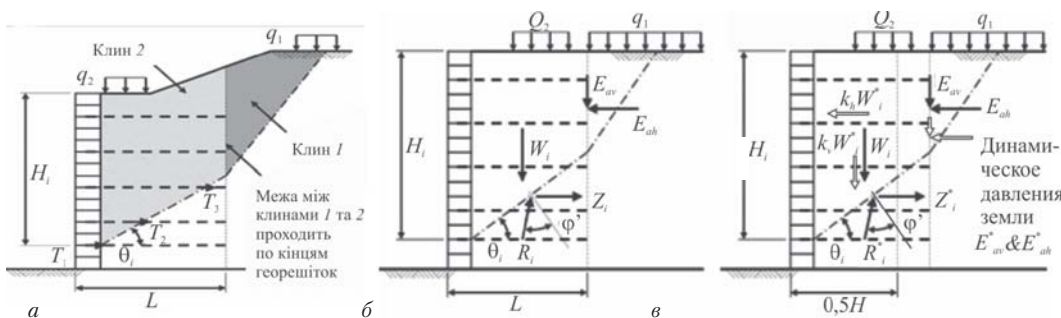


Рис. 5. Схеми до розрахунку внутрішньої стійкості за етапом 2: а – поділ схеми на два клини; б – сили, що діють на споруду; в – врахування сейсмічних впливів



тів. Це стосується, в першу чергу, сировини для виробництва георешітки (полімеру), способу виробництва, стійкості до агресивних середовищ і до ультрафіолету. Компанія «Tensar» має Дозвільний Сертифікат (BVA Certificate) на жорсткі одноосьові георешітки (Tensar RE500) для стінових систем Tensar TW1 для армування ґрунту підпірних стін і стоянів мостів, що дозволяє будувати споруди з вертикальними укосами.

Армоґрунтові стінки розраховується на зовнішню і внутрішню стійкість на основі відповідних державних стандартів і нормативних актів. Більшість методів розрахунку армованих споруд з ґрунту засновані на граничній рівновазі. В разі сейсмічного впливу додаткові інерційні навантаження, викликані землетрусом, включаються в еквівалентні статичні навантаження і розраховуються як квазістатичні методи розрахунку. Розрахунки армованих споруд з ґрунту виконуються в два етапи. Етап 1 включає розрахунок загальної (зовнішньої) стійкості споруди, при якому визначаються габаритні розміри споруди з армованого ґрунту та довжини георешіток з армованого ґрунту з врахуванням класу наслідків (відповідальності) споруди (Рис. 4). Це, по суті, розрахунок гравітаційної утримуючої стінки на зсув (Рис. 4, а), на перекидання (Рис. 4, б), на втрату несучої здатності (Рис. 4, в). Розрахунки загальної стійкості споруд (Рис. 4, г) виконуються за методом круглоциліндричних поверхонь ковзання або за методом Г.М. Шахунянца [5, 6]. При використанні геосинтетичних матеріалів розрахунок загальної стійкості споруд слід уточнювати згідно з [7].

Етап 2 стосується розрахунку на місцеву (внутрішню) стійкість (метод «подвійного клину»), при якому перевіряється міцність та вертикальний крок георешіток, міцність з'єднання георешіток з облицюванням. При влаштуванні споруд в сейсмічних районах в розрахунках стійкості враховуються сейсмічні дії. При розрахунку за етапом 2 розрахункова схема умовно поділяється на два клини (Рис. 5, а): клин 1 (Wedge 1) та клин 2 (Wedge 2). Мета розрахунку за етапом 2: переконатися, що опір (сили тертя $T_1 + T_2 + T_3$), що утворюється облицюванням і армуванням ґрунту, яке перетинається клином 2, є достатнім, щоб уникнути втрати місцевої (внутрішньої) стійкості споруди. Горизонтальну силу, необхідну для рівноваги двох клинів Z_i , визначають з рівняння рівноваги сил, прикладених до клину 2 (Рис. 5, б).

$$Z_i = \Sigma H_i - \Sigma V_i \tan (\varphi' - \theta_i), \quad (1)$$

де ΣH_i – сума всіх горизонтальних сил, рівна E_{ah} ;

ΣV_i – сума всіх вертикальних сил рівна, $W_i + Q_2 + E_{av}$;
 φ' – кут внутрішнього тертя ґрунту засипки, град;
 θ_i – змінний кут нахилу клинів 1 та 2 до горизонту, град.

Для випадку сейсмічного впливу процедура розрахунку аналогічна, як і для статичних дій (Рис. 5, б), але з додатковою дією сейсмічних сил (Рис. 5, в). Основна відмінність полягає у врахуванні додаткових сейсмічних сил, що діють на клин 2 (Рис. 5, в).

Компанією «Tensar» була розроблена комп'ютерна програма Winwall для розрахунку конструкцій (етапи 1 і 2), яка дозволяє оцінити міцність георешіток, визначити відстані між ними, міцності з'єднань облицювань і довжини георешіток, необхідні для протидії висмикування георешітки з облицювання.

Армоґрунтові споруди із застосування матеріалів і технології Tensar дозволили надати багатьом транспортним розв'язкам та іншим спорудам гарний оригінальний зовнішній вигляд, в кілька разів скоротили строки будівництва в порівнянні із залізобетонними підпірними стінками, а також була досягнута значна фінансова економія. Особливо це відноситься до споруд висота, яких більше трьох метрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. Перевод с англ. В. С. Забавина. – М.: Стройиздат, – 1989. – 281 с.
2. Tatsuoka F., Koseki J., Tateyama M. Performance of reinforced soil structure during the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake
3. Michael D. Internal stability of reinforced soil structures using a two-part wedge method
4. Протокол стендовых сейсмических испытаний фрагмента конструкции армогрунтовой подпорной стенки, выполненной с использованием технологий Tensar. (Договор № 36/08 от 04 декабря 2008 г. между научно-проектной фирмой «Атом-Динамик» и ООО «Тенсар Интернэшнл»).
5. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. ДБН В.1.1-46:2017. – [Чинні від 2017-25-04]. - К.: Мінрегіон, 2017. – 43 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Настапова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. – [Чинні від 2017-04-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2017. – 135 с. – (Державний стандарт України).
7. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні положення: ГБН В.2.3-37641918-544:2014 – [Чинні від 2015-01-01]. - К.: Мінінфраструктури, 2014. – 143 с. – (Галузеві будівельні норми України).

