

УДК 625.7/.8
UDK 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.1-092-101

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ АРМОГРУНТОВОЇ ПІДПІРНОЇ СТІНКИ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STABILITY OF A REINFORCED SOIL RETAINING WALL ON A WEAK BASE



Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: fbk@ukr.net, тел. +380442803942

<https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>



Плитус Ростислав Михайлович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, інженер за напрямом проєктування та інжинірингу, ТОВ «Уніпром», Київ, Україна, e-mail: rostmuh@gmail.com, тел. +380683023326

<https://orcid.org/0000-0001-7319-4094>

Анотація. У дослідженні було проаналізовано ефективність використання сучасних армогрунтових конструкцій, зокрема георешіток і стабілізуючих геоматрасів, для забезпечення стійкості та надійності дорожніх конструкцій. Наведено етапи проведеного дослідження щодо проєктування та застосування стабілізуючого геоматрасу для підсилення насипу підходу шляхопроводу у вигляді армогрунтової підпірної стінки на реальному об'єкті. Враховуючи значну висоту армогрунтової конструкції (9 метрів), було виконано підсилення слабкої основи із застосуванням стабілізуючого геоматрасу. Така стабілізація стала альтернативою стандартним методам будівництва на слабких ґрунтах. Використання геосинтетичного стабілізуючого матрасу забезпечило рівномірне осідання армогрунтової конструкції.

Результати моніторингу підтвердили, що ці методи забезпечують високу стійкість конструкцій і оптимізацію будівельних витрат, що робить їх ефективним рішенням для використання в дорожньому будівництві.

Ключові слова: армогрунтові конструкції, георешітки, геосинтетичні матеріали, стабілізація ґрунтів, посилення слабкої основи, підпірна стінка, геоматрас.

Вступ. Армогрунтові підпірні стінки є одним із ефективних рішень для заміни традиційних підпірних конструкцій транспортних споруд. Вони забезпечують стійкість і довговічність дорожніх конструкцій завдяки поєднанню ґрунтових матеріалів з арматурними елементами у вигляді геосинтетичних матеріалів. Це дозволяє зменшити осідання, розподіляти навантаження рівномірніше та запобігати зсувам. Особливо актуальним є використання армогрунтових технологій на слабких основах, де традиційні методи зміцнення можуть виявитися недостатньо ефективними або надто витратними. Завдяки поєднанню властивостей ґрунту та міцності армуючих матеріалів, такі підпірні стінки здатні адаптуватися до змін ґрунтових умов і забезпечувати стійкість конструкції. Обмежений досвід застосування таких конструкцій в Україні вимагає індивідуального проектування та експериментального підтвердження надійності, особливо на ділянках з підвищеними ризиками деформацій.

Авторами аналізувалися результати дослідження конструкційної стабільності армогрунтової підпірної стінки, яка була побудована на ділянці автомобільної дороги загального користування державного значення М12. Ця дорога є важливою транспортною артерією мережі автомобільних доріг України.

Ділянка будівництва характеризується наявністю слабких ґрунтів, що підвищує ризики деформацій та осідань.

Метою дослідження було оцінити ефективність використання армогрунтових підпірних конструкцій на слабкій основі для забезпечення надійності та довговічності дорожньої конструкції. Роботи виконувалися на замовлення Служби автомобільних доріг у Кіровоградській області. Будівельні роботи виконувалися за участі спеціалізованих організацій. Проектування підпірної стінки та моніторинг за станом конструкції проводився ТОВ «НТЦ «Дорінжнаука». Будівельні роботи тривали з квітня до грудня 2022 року. Моніторинг стану конструкції розпочався у березні 2023 року і тривав до жовтня 2024 року. Протягом цього періоду було зібрано дані про поведінку конструкції під впливом експлуатаційних навантажень, зокрема досліджувалися процеси осідання армогрунтового блоку. Ці дані дали можливість зібрати вихідні дані для подальшого аналізу поведінки конструкції під впливом експлуатаційних навантажень, що є важливим для визначення довговічності та стійкості таких споруд.

Виклад основного матеріалу. Будівництво транспортних споруд на слабких основах створює багато проблем при проектуванні та будівництві. По-перше, таке будівництво завжди пов'язане з високими витратами, а по-друге, значно збільшуються терміни виконання робіт. Традиційні методи підвищення несної здатності основи шляхом видалення слабого ґрунту і заміни його більш міцними матеріалами або влаштування пальового поля не завжди реалізуються на практиці і, як правило, є економічно недоцільними. Сучасні технології дозволяють вирішити проблему слабких основ і при цьому значно скоротити терміни будівництва та отримати відчутну фінансову економію [1-3]. Несна здатність основи може бути підвищена або за рахунок зниження рівня ґрунтових вод у водонасичених ґрунтах або за рахунок попереднього доущільнення ґрунтів основи (Dobby, 2011) [4]. На поточний час розроблено методику проектування та будівництва високих насипів на слабких основах із застосуванням геосинтетичних матеріалів. Більшість методів розрахунку армованих ґрунтових споруд базуються на методі граничної рівноваги. Розрахунки армування ґрунту виконуються в два етапи. Етап 1 включає аналіз загальної (зовнішньої) стійкості конструкції, в результаті якого визначаються габаритні розміри армованої земляної конструкції і довжина георешітки в армованому ґрунті з урахуванням класу наслідків (відповідальності) споруди. Це, по суті, аналіз гравітаційної підпірної

стіни на зсув, перекидання та втрату несної здатності. Аналіз загальної міцності конструкції виконується за методом круглоциліндричних поверхонь ковзання або за методом Г.М. Шахунянца [5]. Етап 2 – аналіз місцевої (внутрішньої) стійкості (метод подвійного клину), в якому перевіряється міцність георешіток, вертикальний крок армування, а також міцність з'єднань георешіток з облицюванням. При будівництві в сейсмічних районах аналіз стійкості повинен враховувати сейсмічні впливи. Розрахункова схема відповідно до етапу 2 умовно поділяється на два клина (рис. 1а), а саме: Клин 1 (без армування) і Клин 2 (армована частина ґрунтового масиву).

Суть етапу 2 – переконатися, що опір який створюється облицюванням і геосинтетичним армуванням Клин 2, є достатнім, щоб уникнути локальної (внутрішньої) втрати стійкості конструкції.

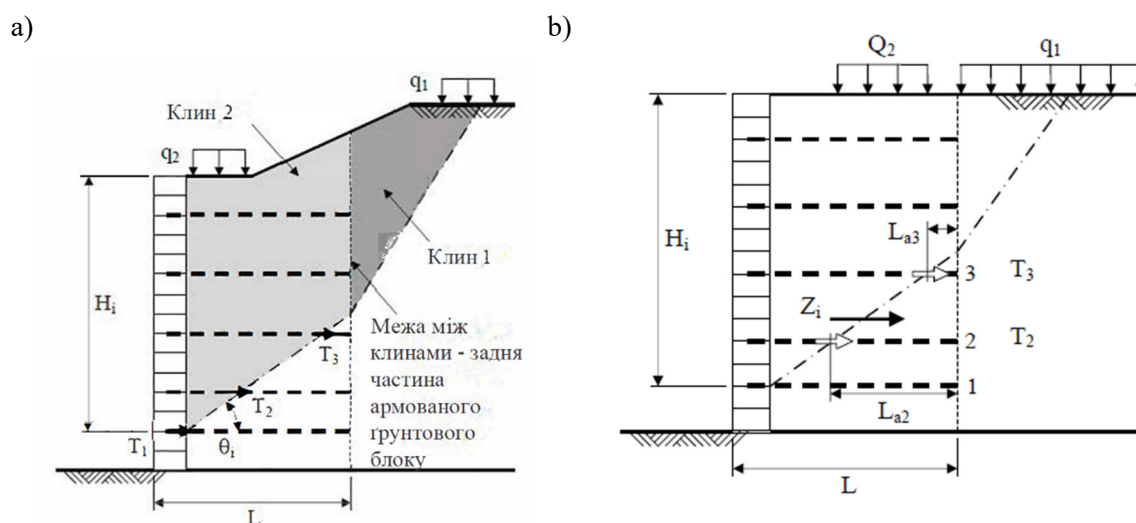


Рисунок 1 – Аналіз внутрішньої стійкості згідно з етапом 2: а - поділ схеми на два клини; б - сили, що діють на конструкцію. Умовні позначення на рисунку 1 відповідають опису програмного коду TensarSlope версії 1.13.

Figure 1 – Analysis of internal stability according to stage 2: a - division of the scheme into two wedges; b - forces acting on the structure. The symbols in Figure 1 correspond to the description of the TensarSlope program code version 1.13.

Для вивчення інженерно-геологічних умов ділянки реконструкція шляхопроводу на км 759+149 автомобільної дороги загального користування державного значення М-12 Стрий-Тернопіль-Кропивницький-Знам'янка (через м. Вінницю), були виконані польові, лабораторні та камеральні дослідження. Згідно з планом, перед початком бурових робіт на ділянці була зведена основа армоґрунтової конструкції з піщано-суглинкового матеріалу. Абсолютні відмітки поверхні земляного полотна в районі шляхопроводу коливаються в межах 214,40-218,90 м. Висота насипу на підходах до шляхопроводу 6,0-6,5 м. Відмітки поверхні землі за межами земляного полотна 203,10 – 211,78 м. За інженерно-геологічними умовами район робіт відноситься до II категорії складності. В геологічній будові території вишукувань до розвіданої глибини 29,0 м приймають участь сучасні та четвертинні утворення, а також відклади неогену. Сучасні відклади представлені елювіальними ґрунтами (eH), четвертинна система представлені еолово-делювіальними утвореннями (vd PIII-H), в нижній частині

розрізу залягають відклади верхнього та нижнього неогену (N2 – N1). Насип автомобільної дороги (підходів до шляхопроводу) складений техногенними ґрунтами (tH).

Під час польових робіт на ділянці було пробурено 6 свердловин глибиною 10 м з відбором зразків ґрунту. Відповідно до загальних вимог до методів визначення характеристик ґрунтів, в геотехнічній лабораторії були визначені фізико-механічні властивості ґрунтів, а також виконано хімічний аналіз ґрунтових вод. На основі камеральної обробки даних польових і лабораторних досліджень з використанням матеріалів вишукувань, виконаних на цій території в попередні роки, виділено інженерно-геологічні елементи (ІГЕ) і складено звіт з відповідними текстовими і графічними додатками (рис. 2).

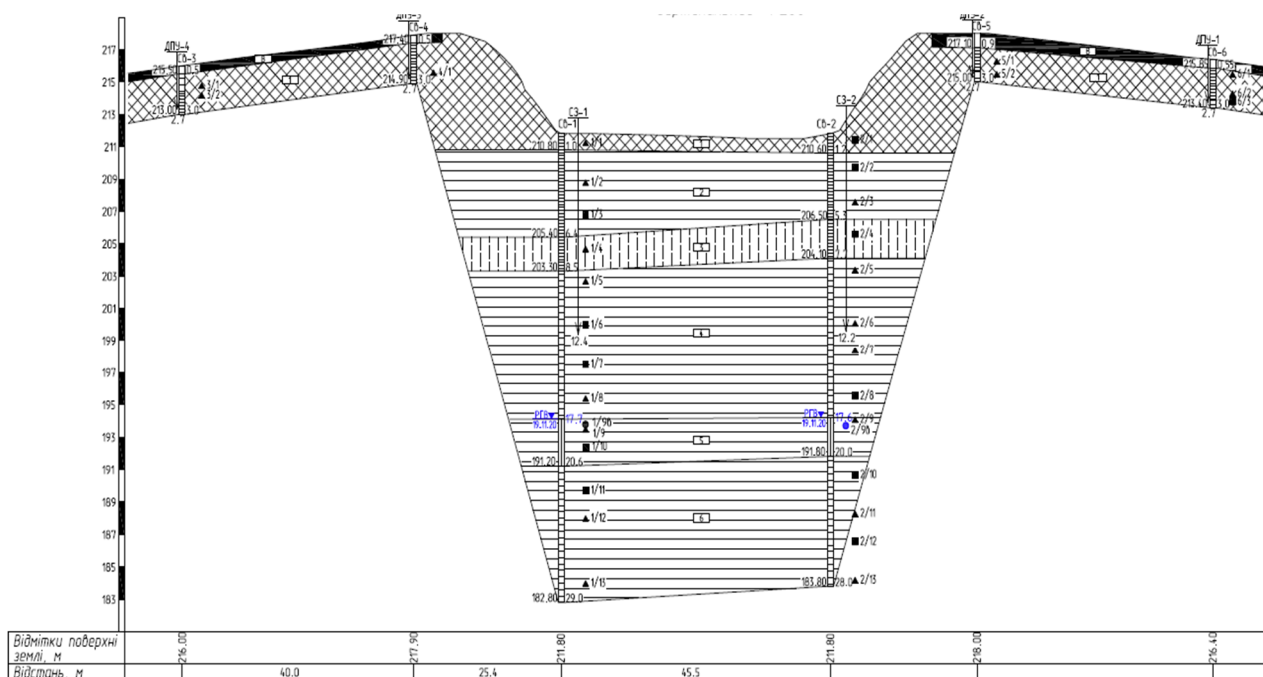


Рисунок 2 – Профіль та опис ґрунту.

Figure 2 – Soil profile and description.

На ІГЕ відображені техногенні відклади: 1 - насипний ґрунт - суглинок важкий пілуватий, буро-коричневий, сіро-коричневий, твердий з прошарками напівтвердого, з прошарками глини 15-20%, подекуди з включенням дресви до 10%; 35в; 2 - глина легка пілувата, буро-коричнева, тверда, з включенням карбонатів до 5% (слабонабухаюча); 35в; 3 - суглинок легкий пілуватий, лесовидний, палево-жовтий, твердий, з включенням карбонатів до 5%; 35в; 4 - глина легка пілувата, буро-коричнева, коричнева, напівтверда, з включенням карбонатів до 5% (середньонабухаюча); 8д ; 5 - глина легка пілувата, коричнева, жовто-коричнева, тугопластична, з включенням карбонатів до 5%; 8б ; 6 - глина важка, сіра, коричнево-сіра, з вохристими і бурими плямами, напівтверда, з включенням залізо-марганцевих бобовин та кристалів гіпсу до 5% (середньо- та сильнонабухаюча); 8д.

Аналіз фізико-механічних характеристик ґрунтів показує, що природні ґрунти не можуть слугувати основою земляного полотна автомобільної дороги та армоґрунтової конструкції, оскільки деформації цих ґрунтів під дією розподіленого навантаження від автомобільного руху будуть дуже високими. Деформації призведуть до нерівномірного осідання армоґрунтової конструкції та

руйнування дорожнього одягу. Через фактичні фізико-механічні характеристики ґрунтів та інші умови, природний рельєф не може слугувати хорошою основою для армоґрунтової конструкції висотою 9 м. Складні гідрологічні умови вимагають трансформації початкових фізико-механічних властивостей ґрунту основи шляхом укріплення ґрунту геосинтетичним стабілізуючим матрасом з метою зменшення деформацій та рівномірному осіданню конструкції майбутньої автомобільної дороги. Для цього обрано рішення по влаштуванню геосинтетичного стабілізуючого геоматрасу TENSAR. Це плоска структура, що складається з базової гексагональної георешітки TriAx 170, яка укладається безпосередньо на слабкий шар ґрунту та засипається інертним матеріалом (щебінь фр.20-40).

Стійкість, просідання і час консолідації армоґрунтової конструкції висотою 9 метрів проаналізовано відповідно до даних ПГЕ для свердловини № 1 на ділянці дороги М12 на підходах до шляхопроводу. Просідання та час консолідації насипу проаналізовано для тиску 0,20 МПа.

Для перевірки стійкості та стабільності конструкції було виконано ряд розрахунків, які перевіряють стабільність як самого блоку армоґрунтової конструкції (Tensar WALL) так і міцність ґрунтової основи (Tensar SLOPE).

Загальна просадка армоґрунтової конструкції згідно розрахунку становить $S = 0,168$ м. Всі характеристики шарів ґрунту, взятих для аналізу, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики шарів ґрунту

Table 1 – Characteristics of soil layers

№ п/п	Шар ґрунту	Товщина шару, (м)	Кут внутрішнього тертя φ , (градусів)	Питома вага γ , (Кн/м ³)	Модуль деформації E, (МПа)	Питоме щеплення c, (кПа)
1	ПГЕ 0	9,0	28	19,0	25	5
2	ПГЕ 1	1,0	20	19.5	20	31
3	ПГЕ 2	5,4	16	18.6	21	54
4	ПГЕ 3	2,9	18	18,9	12	20
5	ПГЕ 4	4,9	20	19,7	23	61
6	ПГЕ 5	7,8	17	19.6	15	50
7	ПГЕ 6	8,4	19	20,0	25	67

Перевірку стійкості блоку армоґрунтової конструкції було виконано з використанням комерційного програмного забезпечення (програмний код TensarWall версії 1. 13).

Також розрахунки проводились засобами комерційного програмного забезпечення TensarSlope версії 1. 13. Проведено такі розрахунки:

- 1) аналіз загальної стійкості армоґрунтової конструкції з стабілізуючим геоматрасом в основі;
- 2) аналіз загальної стійкості;
- 3) аналіз просідання основи армоґрунтової конструкції без стабілізації;
- 4) аналіз зниження напружень по підшві армоґрунтової конструкції при влаштуванні стабілізуючого геоматрасу в основі;
- 5) аналіз консолідації ґрунту основи армоґрунтової конструкції без стабілізації основи;
- 6) аналіз консолідації основи для армоґрунтової конструкції з влаштуванням стабілізуючого геоматрасу в основі

На рисунках 3 та 4 представлені розрахункові схеми відповідних розрахунків (TENSAR WALL та TENSAR SLOPE).

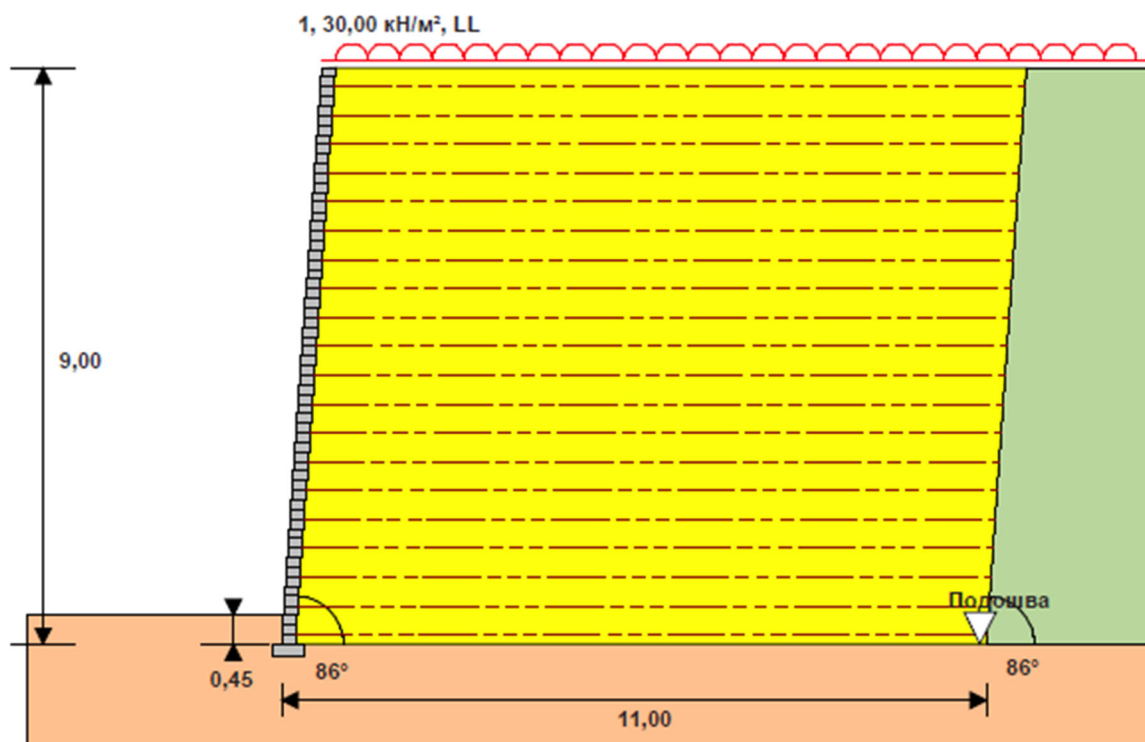


Рисунок 3 – Розрахункова схема блоку армоґрунтової конструкції (метод Бішопа, статичний аналіз, TENSAR WALL).

Figure 3 – Design scheme of the block of reinforced soil structure (Bishop's method, static analysis, TENSAR WALL)

Аналіз показує, що відношення зсувного моменту до утримуючого опору становить 1,577 вздовж кривої № 1 (F_{\min} , рис. 4) і 2,078 (F_{\max} , рис. 4) вздовж кривої № 2. Такі значення коефіцієнта запасу міцності отримано за рахунок влаштування стабілізуючого геоматрацу. Принцип роботи такої конструкції полягає в тому, що механізм руйнування по круглоциліндричним поверхням ковзання не є критичним фактором. Основним критерієм стійкості є міцність на зсув георатки в матрасі, яка максимально мобілізується при використанні геоматрацу Tensar. Сформований і покладений в основу насипу геоматрац утримує вищерозміщені шари ґрунту від зсувів в процесі будівництва і після його завершення до тих пір, поки слабкі ґрунти основи не наберуть достатньо високих механічних характеристик за рахунок консолідації і не перестануть пластично деформуватися. Застосування георешітки Tensar TriAx марки 170 та 160 забезпечує зменшення просідань та робить їх більш рівномірними.

Після зведення стабілізуючого геоматрасу, було споруджено армоґрунтову підпірну стінку в проектну висоту. По завершенню основних будівельних операцій з зведенням армоґрунтової конструкції поверх стабілізуючого геоматраса, було відкрито рух автомобілів.

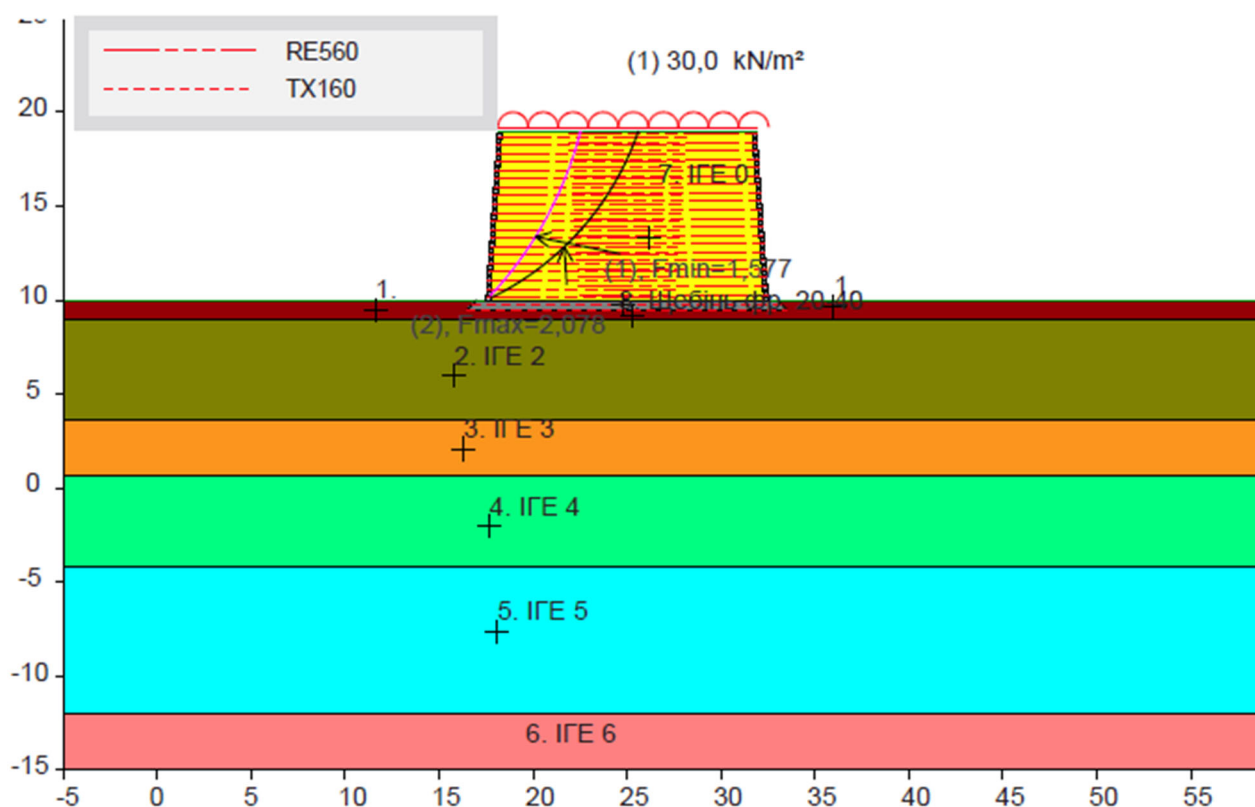


Рисунок 4 – Розрахункова схема армогрунтової конструкції зі стабілізуючим геоматрасом (метод Бішопа, статичний аналіз) (TENSAR SLOPE)

Figure 4 – Design scheme of a reinforced soil structure with a stabilizing geomat (Bishop's method, static analysis) (TENSAR SLOPE)

Щодо технології улаштування геосинтетичного стабілізуючого матрасу. Процес будівництва виконується у два етапи. На першому етапі виконується підготовка основи та укладається георешітка. Другий етап передбачає засипку кам'яним інертним матеріалом, та його подальше укочування. Після цього операція повторюється до виходу на проектну висоту геосинтетичного стабілізуючого матрасу. Загалом проектом було передбачено влаштування 2 шарового геоматрасу з георешітками Tensar TriAx 170 та 160 та щебеню фракції 20-40. Георешітка була укладена вздовж осі котловану з перекриттям суміжних полотен не менше, ніж на 50 см. Це забезпечило рівномірний розподіл навантажень на ґрунтову основу. Усі роботи проводилися на будівельному майданчику в суворій відповідності до технічних вимог.

Під час введення армогрунтової конструкції в експлуатацію починаються процеси стабілізації, що включають осідання ґрунту і перерозподіл внутрішніх напружень. Георешітка, яка укладена в конструкцію, забезпечує зчеплення ґрунту та зменшення зсувів, підвищуючи стійкість. Деформативно-напружений стан стінки включає горизонтальні та вертикальні деформації, які поступово зменшуються під час експлуатації. Блоки облицювання сприймають тиск від ґрунту та частково компенсують деформації. Осідання конструкції відбувається повільно, з найбільшими змінами на початковому етапі, поступово знижуючись з часом.



Рисунок 5 – влаштування георешітки Tensar TriAx
Figure 5 – Tensar TriAx geogrid arrangement



Рисунок 6 – засипання георешітки кам'яним інертним матеріалом
Figure 6 – filling the geogrid with stone inert material



Рисунок 7 – укочування шару механізацією
Figure 7 – rolling the layer by mechanization

Для підтвердження надійності армогрунтової конструкції, після введення її в експлуатацію було проведено натурні геодезичні спостереження. Моніторинг осідання армогрунтового блоку здійснювався кожних шість місяців (навесні та восени) протягом двох років.

За результатами моніторингу було виявлено, що сумарне осідання армогрунтової конструкції склало 0,0338 м/рік, що відповідає нормативним вимогам. Завдяки використанню стабілізуючого геоматраса, було досягнуто стійкості конструкції висотою 9 метрів, що дозволило успішно завершити будівельні роботи відповідно до будівельних норм України. Армогрунтова конструкція продемонструвала високу експлуатаційну надійність під час активного навантаження автомобільним транспортом, що підтверджує ефективність застосованої технології укріплення.

Отримані дані підкреслюють важливість моніторингу та підтверджують доцільність використання армогрунтових конструкцій для забезпечення надійності доріг державного значення.

Висновки

1. Було проаналізовано ефективність використання армогрунтових підпірних конструкцій на автомобільній дорозі державного значення М-12 з акцентом на стабільність та осідання конструкції протягом 2-х років експлуатації. Результати моніторингу показали, що осідання армогрунтового блоку становило 0,0338 м/рік, що відповідає нормам та підтверджує ефективність застосованих методів зміцнення з використанням георешіток та стабілізуючого геоматрасу.

2. Виконано валідацію практичного використання армогрунтових конструкцій з використанням сучасних матеріалів. Запропоновані рішення показали не лише високу стійкість конструкції, але й забезпечили оптимізацію процесу будівництва та економічну вигоду за рахунок зменшення обсягів використаних будівельних матеріалів.

3. Встановлено, що технологія використання стабілізуючого геоматрасу дає можливість зменшити загальні деформації та осідання конструкції, що підкреслює необхідність ширшого впровадження таких технологій в практику дорожнього будівництва.

4. Результатами проведених моніторингових досліджень підтверджено підвищення надійності конструкції (що дозволяє рекомендувати використання армогрунту) як довгострокове вирішення проблеми забезпечення стабільності доріг.

5. Подальші дослідження армогрунтових конструкцій дозволять розроблення нових технологічних підходів у будівництві доріг, демонструючи ефективність їх реалізації на практиці.

Перелік посилань

1. A. McGown & S.F. Brown «Applications of reinforced soil for transport infrastructure» Book Advances in Transportation Geotechnics, 1st Edition 2008, eBook ISBN9780429207280;
2. Kumar B. Joynul A. Soumadeep B. Economic and Financial Analysis for Reinforced Soil Wall in Submerged Condition Journal of US-China Public Administration, Jan.-Feb. 2024, Vol. 21, No. 1, 8-19 doi: 10.17265/1548-6591/2024.01.002.
3. Primož Jelušič* and Bojan Žlender «Multi-objective optimization of geosynthetic reinforced soil structures» E3S Conf. Volume 569, 2024 GeoAmericas 2024 - 5th Pan-American Conference on Geosynthetics, Article Number 07003;
4. Добі, М. Д. Д. 2011. Внутрішня стійкість армованих ґрунтових конструкцій з використанням двокомпонентного клинового методу. 9-та Індонезійська геотехнічна конференція та 15-ті щорічні наукові збори; Тез. доп. міжнар. конф. м. Джакарта, 7-8 грудня 2011 р.
5. Терзагі, К., Пек, Р.Б. 1996. Механіка ґрунтів в інженерній практиці, 3-тє видання. Нью-Йорк: John Wiley & Sons, Inc.
6. TENSAR Режим доступу: <https://www.tensarcorp.com/>
7. Будівельні норми України. ДБН В.1.1-12:2006. 2006. Будівництво в сейсмічних районах України. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6614
8. Будівельні норми України. ДСТУ Б В.2.1-3-96. 1996. Основи і фундаменти будівель та споруд. Ґрунти. Лабораторні випробування. Терміни [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4079.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STABILITY OF A REINFORCED SOIL RETAINING WALL ON A WEAK BASE

Usychenko Olena Y., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, e-mail: fbk@ukr.net, tel. +380503114182, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Omelyanovycha-Pavlenka str., bldg. 218, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Plytus Rostyslav M., postgraduate student, National Transport University, e-mail: rostmuh@gmail.com, tel. +380683023326, Ukraine, 01042, Kyiv, 32, John McCain Str., orcid.org/0000-0001-7319-4094

Summary. The purpose of the proposed article is to describe a practical example, experimental and theoretical analysis of strengthening weak soils with geogrids in the base based on field studies of a reinforced soil structure near an overpass. The authors present practical data from field studies of settlement of a reinforced soil structure reinforced with a stabilizing geogrid. The actual data of monitoring the settlement of the structure during two years of operation are presented. The calculated and actual data on the structure near the overpass at km 759+149 of the public road of national importance M-12 are analyzed.

Sufficient previous experience in the design of ground structures with geosynthetic reinforcement with geogrids makes it possible to monitor facilities during operation, and a more detailed understanding of the mechanics of operation and calculation methods for such structures allows for the improvement and optimization of such structures at the design stage through monitoring work. The authors have proven that the use of a stabilizing mattress under a 9-meter-high reinforced concrete structure allowed for uniform settlement of the structure and to predict settlement processes during the commissioning of the structure. Clear field data on the settlement of the structure are provided, which have minimal discrepancies with the calculated ones.

Such a monitoring approach allows optimizing design solutions, which may reduce the overconsumption of geogrids in reinforced soil structures, and optimizing design parameters, namely the reinforcement pitch and the length of the reinforcing layer, which affects the project cost and labor intensity of the work.

Keywords: reinforced soil structures, geogrids, geosynthetic materials, soil stabilization, strengthening of weak foundations, retaining wall, geomattress.

References

1. A. McGown & S.F. Brown “Applications of reinforced soil for transportation infrastructure” Book Advances in Transportation Geotechnics, 1st Edition 2008, eBook ISBN9780429207280;
2. Kumar B. Joynul A. Soumadeep B. Economic and Financial Analysis for Reinforced Soil Wall in Submerged Condition Journal of US-China Public Administration, Jan.-Feb. 2024, Vol. 21, No. 1, 8-19 doi: 10.17265/1548-6591/2024.01.002.
3. Primož Jelušič* and Bojan Žlender “Multi-objective optimization of geosynthetic reinforced soil structures” E3S Conf. Volume 569, 2024 GeoAmericas 2024 - 5th Pan-American Conference on Geosynthetics, Article Number 07003;
4. Dobie, M. D. D. 2011. Internal stability of reinforced soil structures using a two-component wedge method. 9th Indonesian Geotechnical Conference and 15th Annual Scientific Meeting; Proceedings of the international conference. Jakarta, December 7-8, 2011.
5. Terzaghi, K., Peck, R.B. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
6. TENSAR Access mode: <https://www.tensarcorp.com/>.
7. Building codes of Ukraine. DBN V.1.1-12: 2006. 2006. Construction in seismic areas of Ukraine. Access mode: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6614.
8. Construction norms of Ukraine. DSTU B.2.1-3-96. 1996. Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Laboratory tests. Terms [Electronic resource]. Access mode: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4079.

Дата надходження до редакції 8.10.2024.