

ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АРМУВАННЯ ҐРУНТІВ ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В СКЛАДНИХ ҐРУНТОВИХ УМОВАХ

Вінницький національний технічний університет

Армування ґрунту горизонтальними лінійними гнучкими елементами застосовують майже в усіх галузях геотехнічної практики, при розміщенні майданчика будівництва в складних ґрунтових умовах. Розглянемо більш детально кожну з складних умов будівництва, такі як підроблювальні гірничими виробками площі, просідаючі ґрунти, ділянки небезпечні щодо можливості суфозії та карсту, зсувів, а також насипні та органогенні ґрунти, на прикладі армування подушки під фундаментом будівлі, що буде зводиться. В цьому випадку необхідно дотримуватися таких вимог як, достатня міцність елементів армування та оптимальна поверхня контакту елементів з ґрунтом. Перш за все розглянемо принцип використання цього методу при будівництві на територіях, що вже підроблені або в майбутньому будуть підроблені гірничими виробками та підземними міськими спорудами. Крім мульди зрушення, що безпосередньо утворюється протягом певного часу над гірничою виробкою, в межах якої відбувається осідання, нахили, деформації кривизни, стиснення та розтягу земної поверхні, можливі і інші небезпечні процеси, які досягають земної поверхні: ущільнення ґрунту від дренажу, що веде до осідання шарів, які залягають вище і завершується осіданням земної поверхні з утворенням дренажної мульди осідання; суфозія в підземну виробку, в результаті якої утворюється суфозійна порожнина, і залежно від її висоти, відбувається або обвалення, або осідання ґрунту, а на земній поверхні відповідно утворюється суфозійний провал або суфозійна мульда зрушення.

Ключові слова: горизонтальні гнучкі елементи, армування ґрунту, складні ґрунтові умови, параметри армування.

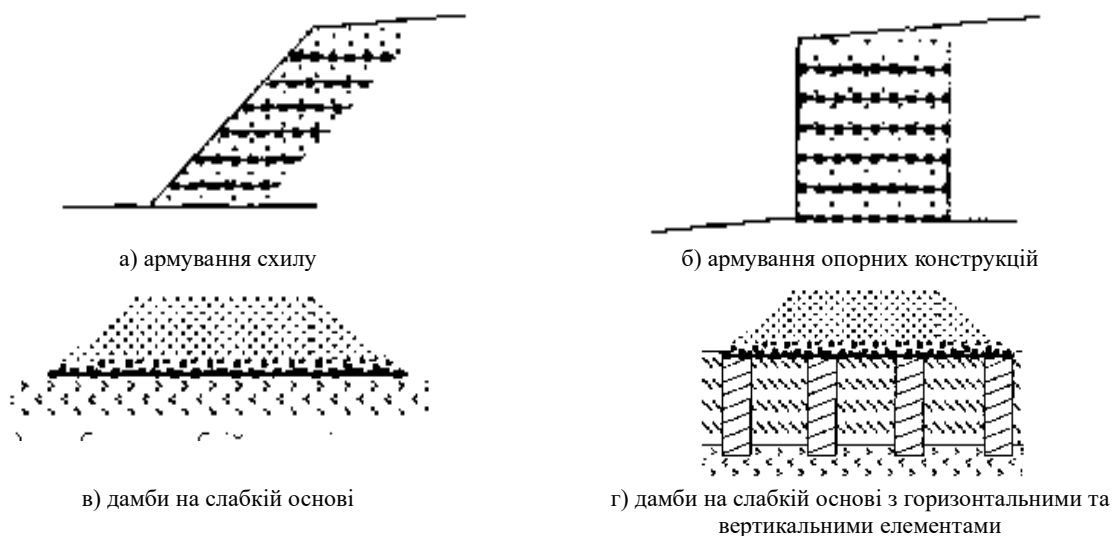
Вступ

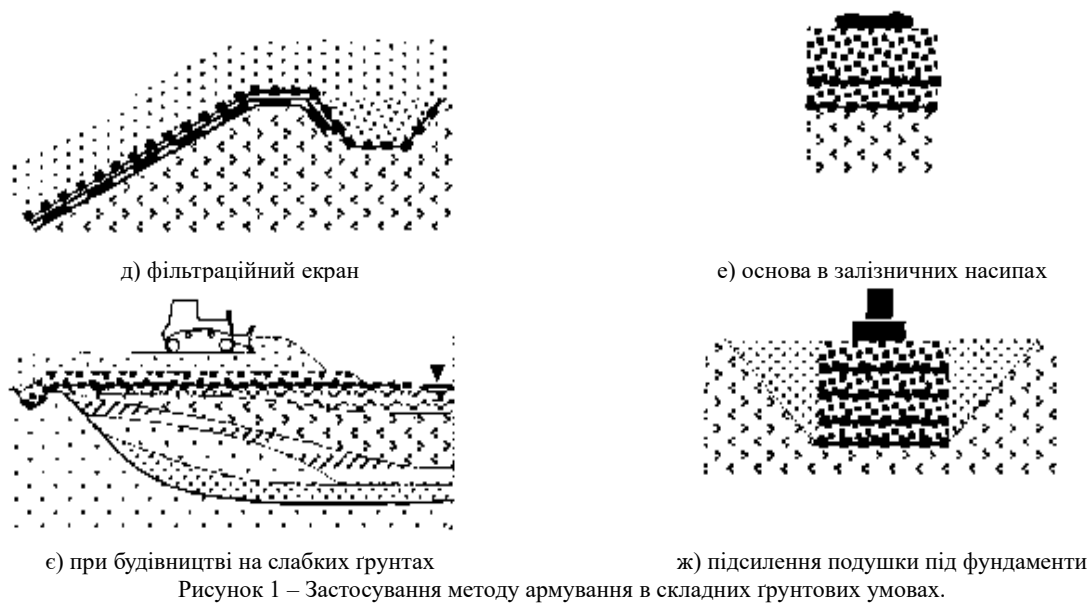
В спорудах ефект армування проявляється двояким чином. По-перше, арматура за рахунок міцності на розтяг перешкоджає зсуву одних частин ґрунтового масиву відносно інших. По-друге, прошарок, що працює сумісно з ґрунтом, викликає перерозподіл напружень з перевантажених зон на сусідні недовантажені ділянки і залучає їх до роботи. Введення такого прошарку дозволяє підсилити небезпечну чи ослаблену зону конструкції і забезпечити її достатню міцність.

В залежності від властивостей матеріалу, що використовується, і особливостей роботи, арматура в ґрунтовому масиві може виконувати роль [1, 2]: 1.Самої арматури. 2.Фільтру. 3.Дрени. 4.Капілярпереривача. 5. Захисного шару.

Потрібно мати на увазі, що в багатьох випадках вкладання арматурного прошарку може дати комплексний ефект.

Розглянемо майданчики будівництва зі складними ґрунтовими умовами де застосовується метод армування (рис. 1).





Основна частина

Введення арматурного елемента в ґрунтовий масив стоїть на перешкоді шкідливого впливу деформацій земної поверхні на існуючі будівлі. Найбільш розповсюджений метод горизонтального армування ґрунту очевидно варто застосовувати при новому будівництві, над невеликими за площею підземними порожнинами. Розглянемо геометричну схему процесу зрушення порід над такою порожниною DF (це може бути, лінія метрополітену або підземна порожнина, техногенного, суфозійного, карстового походження). В цьому випадку мульда зрушення на земній поверхні АВ є нерозвиненою, має чашоподібну форму, у неї відсутня плоска ділянка (рис. 2). Будівля, яку розміщено в центральній частині такої мульди, зазнає деформацій розтягу фундаменту і нижніх надземних конструкцій та стиснення верхніх (зокрема перемичок над вікнами, залізобетонних поясів на рівні перекриття і т.д.).

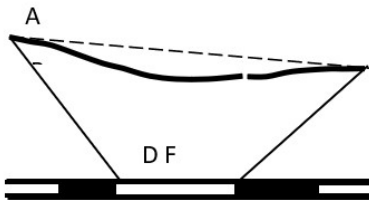


Рисунок 2 – Схема утворення мульди зрушення

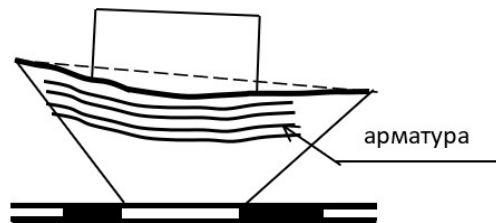


Рисунок 3 – Будівля, яка розміщена на мульді зрушення

Введення в ґрунтову основу горизонтальних елементів армування, які сприймуть частину зусиль розтягу, суттєво обмежать ці деформації (рис. 3) Згідно [3, 4] руйнування армоґрунтових споруд, що знаходяться на підроблювальних територіях, характеризується розривом елементів армування, внаслідок розтягнення земної поверхні, тому необхідно забезпечити потрібну їх міцність, а також довжину арматурних елементів. Бажано також виконувати анкерування кінців арматурних елементів, при їх кількості не менше 4 [5]. Це дозволить уникнути проковзування арматурних елементів у ґрунті, що зменшить осадку основ будівель та споруд.

Коли будівля розміщується таким чином, що у її нижній частині відбуваються деформації стиску, а у верхній – розтягу, доцільно використовувати металеві або залізобетонні арматурні елементи, що мають високу міцність на стиск, з шорсткою поверхнею, для забезпечення більш високого коефіцієнту тертя по ґрунту. Якщо арматурний елемент не буде мати достатньої міцності на стиск, то в цьому випадку, він не тільки не покращить властивості основи, а й може привести до їх погіршення, за рахунок утворення фіксованих ділянок ковзання [6]. Але недоліком металевих елементів є відносно висока вартість і нестійкість внаслідок можливої корозії, тому їх використання потребує техніко-економічного порівняння з іншими можливими варіантами захисту будівлі від небезпечних деформацій.

У випадку прояву суфозійних процесів для створення армоґрунту не дозволяється використовувати середньозернисті та мілкі піски, а необхідно взяти глинисті ґрунти або крупний пісок чи щебінь для

влаштування подушки. Якщо не виконати цю умову, то це може привести до втрати зчеплення арматурного елемента з ґрунтом, а як наслідок можливе лавиноподібне руйнування основи та будівлі.

Розрахунок армованого ґрунту в таких умовах ведеться емпіричними методами залежно від процентного вмісту арматурних елементів [7].

Представляє інтерес застосування методу армування ґрунту при будівництві на просідаючих ґрунтах, так як вони складають до 70 % території України. Відомо, що ці ґрунти при малій вологості мають відносно непогані характеристики, але наявність водорозчинних скелетних зв'язків і висока пористість веде до їх різкого погіршення при замоканні. Це призводить до локального значного просідання з утворенням провалів, нахилів, пошкоджень і навіть руйнування будівель [8].

У більшості випадків, для створення армоґрунтового масиву на просідаючих ґрунтах, застосовують маловологий пісок середньої крупності та мілкий пісок [1]. Однак в деяких працях [9], висвітлено питання використання глинистого ґрунту і реологічні властивості створеного масиву. Слабку взаємодію глинистого ґрунту порушеної структури з арматурними елементами пояснюють процесом консолідації, хоча через певний проміжок часу біля поверхні контакту утворюється шар ґрунту, що має зв'язок з ґрунтом, який влаштований між арматурними елементами. Розглянемо два типи локальних послаблень при просіданні ґрунту: 1) під торцем будівлі; 2) під центром будівлі.

У першому випадку, кінці арматурних елементів можуть виключитися з роботи, оскільки матеріал подушки (для піску) зазнає суттєвого розуцільнення. Внаслідок цього знижується контактна взаємодія “арматурний елемент – ґрунт подушки”, зменшується площа розподілу навантаження, яке створює будівля, що може призвести до появи тріщин у верхній її частині. Якщо для матеріалу подушки використати глинистий ґрунт, то часткова втрата контакту між арматурними елементами та ґрунтом і розвиток деформацій значно затягнуться у часі.

Другий тип послаблення менш шкідливий за перший, оскільки площа контакту “арматурний елемент - ґрунт” під центральною частиною будівлі хоча і в певній мірі знижується, але завдяки високій міцності елементів армування, в порівнянні з міцністю ґрунту, та достатньому їх анкеруванню, відбудеться перерозподіл напружень, що значно обмежить деформацію ґрунтової основи. Однак можливе проковзування елементів армування по ґрунту, менш вірогідно – їх розрив, і при значному послабленні з'являються тріщини у нижній частині будівлі.

Локальне руйнування армоґрунтового масиву (розрив арматурного елемента чи втрата зчеплення між ним та ґрунтом) в цих умовах буде залежати в основному від ступеня ущільнення ґрунту, міцності, довжини та анкерування арматурних елементів.

При ґрунтах, в яких просідання відбувається від власної ваги ґрунту, більш доцільне армування ґрунтової основи вертикальними елементами підвищеної жорсткості [10].

Якщо в описаних ґрунтових умовах застосування методу армування ґрунту носить поки епізодичний характер, то на зсувонебезпечних територіях цей метод використовують відносно давно (з 1960-х років) і він зарекомендував себе з найкращої сторони. З його застосуванням збудовано тисячі підпірних стінок.

Основним небезпечним процесом є утворення зсувних мас, які зміщуючись відносно стаціонарних поверхонь приводять до суттєвих пошкоджень будівель. Тому, в цьому випадку, важливу роль відіграє обрис поверхні ковзання, так як, необхідно, щоб горизонтальний арматурний елемент мав достатнє анкерування поза нею.

При значному розвитку зсувного процесу можливо використовувати комбінацію вертикального і горизонтального армування. Вертикальні елементи повинні працювати на зріз і “пришивати” зсувну масу до стаціонарної поверхні.

Необхідно відмітити, що навіть армування глинистих ґрунтів показало збільшення їх міцності майже у два рази та зниження чутливості до температурних впливів.

Висновки

- Армоґрунтові споруди, базуючись на економічні рішення, варто використовувати при будівництві на слабких ґрунтах, для заміни масивних залізобетонних споруд та з метою забезпечення підвищеної міцності та стійкості основи.
- Ефект в таких спорудах досягається за рахунок активного впливу арматурного прошарку на напружено-деформований стан споруди, створення сприятливих умов для роботи масиву чи окремих його частин, забезпечення оптимальних гідрогеологічних умов та сумісного використання всіх факторів.
- Метод армування основ горизонтальними гнучкими лінійними елементами при використанні оптимальних параметрів показує свою ефективність (зменшується деформативність основи) майже у всіх складних ґрунтових умовах – підроблювальні площі при прокладанні ліній

метрополітену, просідаючі та насипні ґрунти, небезпечні ділянки, щодо можливості виникнення суфозії та карсту, при цьому осадки зменшуються до 50 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Друкований М.Ф., Дудар І.Н., Корчевський Б.Б., Ковальський Р.К. Фактори, що впливають на ефективність армування ґрунту // Вісник ВПП. – 2001. - №5. – с. 22 – 27.
2. Song, Xiaoruan, Miansong Huang, Shiqin He, Gaofeng Song, Ruozhu Shen, Pengzhi Huang, and Guanfang Zhang. "Erosion Control Treatment Using Geocell and Wheat Straw for Slope Protection." *Advances in Civil Engineering* 2021 (April 10, 2021): 1–12. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/5553221>.
3. Друкований М.Ф., Корчевський Б.Б. Зміцнення ґрунтових підвалин армуючими подушками з скловолокнистих сіток. Результати лабораторних випробувань *Науково-технічний журнал «Будівельні конструкції»* №53. Книга 2 – К.: НДІБК – 2000, с.94-99.
4. YAMAZAKI, Takayuki, Toyoji YONEZAWA, Masaru TATEYAMA, and Fumio TATSUOKA. "2E12 Design and construction of geosynthetic-reinforced soil structures for Hokkaido Shinkansen(Infrastructure)." *Proceedings of International Symposium on Seed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems : STECH 2015 (2015): 2E12-1 — 2E12-12* . <http://dx.doi.org/10.1299/jsmestech.2015.2e12-1>.
5. Pant, Aali, Manoj Datta, and G. V. Ramana. "Bottom ash as a backfill material in reinforced soil structures." *Geotextiles and Geomembranes* 47, no. 4 (August 2019): 514–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2019.01.018>.
6. Trovato, F., G. Intrevado, P. Pezzano, and G. Lugli. "Reinforced Soil Structures: From Standard Design to BIM." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1260, no. 1 (October 1, 2022): 012034. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1260/1/012034>.
7. Корчевський Б.Б., Колесник А.В. Теоретичний розрахунок армованих основ з урахуванням анізотропії ґрунтів // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. – 2023. – Т. 34, № 1. – С. 69-79.
8. Portelinha, Fernando H. M., Jorge G. Zornberg, and Orencio M. Vilar. "Deformation analysis of an unsaturated geosynthetic reinforced soil wall subjected to infiltration." *MATEC Web of Conferences* 337 (2021): 03018. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/202133703018>.
9. Hoffman, Peter. "Disruption, innovation, and opportunity with reinforced soil structures." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 727, no. 1 (April 1, 2021): 012019. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/727/1/012019>.
10. Sabri, Mohanad Muayad Sabri, Nikolai Ivanovich Vatin, Renat Rustamovich Nurmukhametov, Andrey Budimirovich Ponomarev, and Mikhail Mikhailovich Galushko. "Vertical Fiberglass Micropiles as Soil-Reinforcing Elements." *Materials* 15, no. 7 (April 1, 2022): 2592. <http://dx.doi.org/10.3390/ma15072592>.

REFERENCES

1. Drukovany M.F., Dudar I.N., Korchevskiy B.B., Kovalskiy R.K. Factors affecting the effectiveness of soil reinforcement // *Visnyk VPI*. – 2001. - No. 5. - with. 22 - 27.
2. Song, Xiaoruan, Miansong Huang, Shiqin He, Gaofeng Song, Ruozhu Shen, Pengzhi Huang, and Guanfang Zhang. "Erosion Control Treatment Using Geocell and Wheat Straw for Slope Protection." *Advances in Civil Engineering* 2021 (April 10, 2021): 1–12. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/5553221>.
3. Drukovany M.F., Korchevskiy B.B. Strengthening of soil foundations with reinforcing pillows made of fiberglass mesh. Results of laboratory tests. *Naukovo-tekhnichnyy zhurnal "Building structures"* No. 53. Book 2 - K.: NDIBK - 2000, p.94-99.
4. YAMAZAKI, Takayuki, Toyoji YONEZAWA, Masaru TATEYAMA, and Fumio TATSUOKA. "2E12 Design and construction of geosynthetic-reinforced soil structures for Hokkaido Shinkansen(Infrastructure)." *Proceedings of International Symposium on Seed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems : STECH 2015 (2015): 2E12-1 — 2E12-12* . <http://dx.doi.org/10.1299/jsmestech.2015.2e12-1>.
5. Pant, Aali, Manoj Datta, and G. V. Ramana. "Bottom ash as a backfill material in reinforced soil structures." *Geotextiles and Geomembranes* 47, no. 4 (August 2019): 514–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2019.01.018>.
6. Trovato, F., G. Intrevado, P. Pezzano, and G. Lugli. "Reinforced Soil Structures: From Standard Design to BIM." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1260, no. 1 (October 1, 2022): 012034. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1260/1/012034>.
7. Korchevskiy B.B., Kolesnyk A.V. Theoretical calculation of reinforced foundations taking into account soil anisotropy // *Modern technologies, materials and structures in construction*. - 2023. - Vol. 34, No. 1. - P. 69-79.
8. Portelinha, Fernando H. M., Jorge G. Zornberg, and Orencio M. Vilar. "Deformation analysis of an unsaturated geosynthetic reinforced soil wall subjected to infiltration." *MATEC Web of Conferences* 337 (2021): 03018. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/202133703018>.
9. Hoffman, Peter. "Disruption, innovation, and opportunity with reinforced soil structures." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 727, no. 1 (April 1, 2021): 012019. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/727/1/012019>.

10. Sabri, Mohanad Muayad Sabri, Nikolai Ivanovich Vatin, Renat Rustamovich Nurmukhametov, Andrey Budimirovich Ponomarev, and Mikhail Mikhailovich Galushko. "Vertical Fiberglass Micropiles as Soil-Reinforcing Elements." *Materials* 15, no. 7 (April 1, 2022): 2592. <http://dx.doi.org/10.3390/ma15072592>.

Корчевський Богдан Болеславович - кандидат технічних наук, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: b.b.korchevskiy@gmail.com ORCID 0009-0004-3922-7701.

Кириця Інна Юрївна - кандидат технічних наук, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: slk-vin@ukr.net ORCID 0000-0002-8280-5552.

B. Korchevskiy
I. Kyrytsya

PRINCIPLES OF APPLICATION OF THE SOIL REINFORCEMENT METHOD WITH HORIZONTAL ELEMENTS IN COMPLEX SOIL CONDITIONS

Vinnitsia National Technical University

Soil reinforcement with horizontal linear flexible elements is used in almost all branches of geotechnical practice, when placing a construction site in difficult soil conditions. Let's consider in more detail each of the difficult construction conditions, such as areas faked by mining, subsidence soils, areas dangerous for the possibility of sufosis and karst, landslides, as well as loose and organic soils, using the example of pillow reinforcement under the foundation of the building that will be erected. In this case, it is necessary to comply with such requirements as sufficient strength of the reinforcement elements and the optimal contact surface of the elements with the soil. First of all, we will consider the principle of using this method during construction on territories that have already been tampered with or will be tampered with in the future by mining and underground urban structures. In addition to the displacement trough, which is directly formed over a certain period of time above the mine, within which subsidence, tilting, curvature deformation, compression and stretching of the earth's surface occur, other dangerous processes that reach the earth's surface are also possible: soil compaction from drainage, which leads to the subsidence of the layers that lie above and ends with the subsidence of the earth's surface with the formation of a drainage basin of subsidence; sufosis into an underground working, as a result of which a sufosis cavity is formed, and depending on its height, either collapse or subsidence of the soil occurs, and a sufosis depression or a sufosis mound of displacement is formed on the earth's surface, respectively. In buildings, the effect of reinforcement is manifested in two ways. First of all, due to its tensile strength, reinforcement prevents the displacement of some parts of the soil mass relative to others. Secondly, the interlayer, which works in harmony with the soil, causes a redistribution of stresses from overloaded areas to neighboring unloaded areas and involves them in work. The introduction of such a layer allows you to strengthen the dangerous or weakened area of the structure and ensure its sufficient strength. The introduction of horizontal reinforcing elements into the soil base, which will absorb part of the tensile forces, will significantly limit these deformations. The destruction of reinforced soil structures located in counterfeit territories is characterized by the rupture of reinforcing elements due to the stretching of the earth's surface, therefore it is necessary to ensure their required strength, as well as the length of reinforcing elements. It is also desirable to anchor the ends of the reinforcing elements, if their number is at least 4. This will prevent reinforcement elements from slipping in the soil, which will reduce the settlement of foundations of buildings and structures.

Keywords: horizontal flexible elements, soil reinforcement, complex soil conditions, reinforcement parameters.

Bogdan Korchevskiy – Ph. D., associate professor of the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnitsia National Technical University, e-mail: b.b.korchevskiy@gmail.com ORCID 0009-0004-3922-7701.

Inna Kyrytsya – Ph. D., associate professor of the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnitsia National Technical University, e-mail: slk-vin@ukr.net ORCID 0000-0002-8280-5552.