

ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ УКРІПЛЕННЯ УКОСІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

¹Вінницький національний технічний університет
²Одеська державна академія будівництва та архітектури

В статті досліджуються проблеми пов'язані з особливостями укріплення укосів автомобільних доріг. Виконаний аналіз факторів, що впливають на процес руйнування укосів земляного полотна. Досліджено класифікацію типів укріплення укосів. Що дозволить приймати оптимальні рішення щодо застосування технологічних рішень. Сформувано основні принципи, які необхідно дотримуватись при виборі конкретних технологічних рішень щодо укріплення укосів земляного полотна автомобільних доріг.

Особлива увага приділяється сучасним технологічним рішенням та матеріалам, що застосовуються у даній області, включаючи біотехнічні методи, геосинтетичні матеріали, використання бетону, каменю, а також укріплення паль та анкерів. Розглянуто переваги та сфери застосування, а також технологічні рішення процесів укріплення укосів. Питання укріплення укосів має особливу актуальність, оскільки необхідним є попередження їх руйнування під дією природних та антропогенних факторів, таких як: ерозія, опади, зміни рівня ґрунтових вод та вібрації від руху транспорту. Укосні частини дорожніх конструкцій є одними із найуразливіших елементів. Стаття присвячена застосуванню сучасних матеріалів для укріплення укосів з метою забезпечення надійного функціонування автомобільних доріг або окремих її частин в різних умовах будівництва та під різними впливами.

При виконанні застосуванні у практиці обраних технологічних рішень необхідним є використання рекомендацій нормативної літератури щодо проєктування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Ключові слова: укріплення укосів, автомобільна дорога, технологічні рішення.

Вступ

У загальній структурі методів підвищення експлуатаційної надійності та довговічності першорядне значення має надаватися методам забезпечення стійкості земляного полотна, інакше можуть виникати небезпечні деформації в межах як усієї дорожньої конструкції, так і за її межами. При цьому початкова деформація укосу може бути «пусковим» механізмом прогресуючого руйнування узбіч, покриття, водовідвідних каналів, дренажних споруд, прилеглих природних схилів.

Основна частина

Зміцнення укосів земляного полотна призначені для підвищення їх ерозійної стійкості, протидії ударному впливу та інфільтрації атмосферних опадів, стікання поверхневих вод та інших факторів, що діють на поверхню дороги та проявляються в зоні, що перебуває вище впливу паводків.

Для вибору типу зміцнення укосів земляного полотна необхідно приймати до уваги та враховувати цілий комплекс факторів та умов:

- вид споруди, що зміцнюється (насип або виїмка);
- термін служби захисного укріплення;
- вид ґрунту, з якого складено спорудження, що зміцнюється, його властивості і стан;
- вид ґрунту основи споруди (геологічні розрізи основи укріпленої земляної споруди), її властивості та стан, можливість осідання насипу на слабкій основі;
- місцеві кліматичні умови та метеорологічну обстановку;
- місцеві топографічні умови (абсолютні позначки ділянки робіт над рівнем моря, експозиції схилів, якими прокладена дорога, експозицію укосів земляного полотна, що зміцнюється);
- місцеві гідрологічні умови (глибину та тривалість періоду підтоплення укосів при найвищому розрахунковому та нижчому рівнях води, амплітуду коливань рівнів води, швидкість течії);
- ступінь агресивності середовища для застосовуваних зміцнювальних матеріалів;
- вид та кількість наявних будівельних місцевих матеріалів для укріплювальних робіт, можливі умови їх розробки, транспортування, дальність перевезення, вартість;
- наявність місцевої робочої сили та її кваліфікацію;
- можливості максимальної механізації трудомістких процесів укріплювальних робіт;
- заданий термін та період року для виконання будівельних робіт.

Для стабілізації ерозійних процесів (вітрова та водна ерозія), що призводять до зсувів і обвалів, найбільш надійним і доцільним способом з погляду екології є створення рослинного дернового шару на схилах та укосах. Але на створення цього шару необхідні роки, у зв'язку з цим є необхідність виконання додаткових укріплювальних робіт.

Усі типи зміцнення можна поділити на 3 групи [1]:

- 1 – на видом використовуваних матеріалів;
- 2 – за конструктивною ознакою;
- 3 – за технологічним принципом;
- 4 – по виду стійкості, що забезпечується.

За першим критерієм – видом використовуваних матеріалів, виділяємо три основні типи: біологічні зміцнення; конструкції та типи укріплень з використанням штучних матеріалів, змішані (рисунк 1).



Рисунок 1 – Класифікація за видом використовуваних матеріалів

За конструктивним критерієм виділяємо дві основні групи: суцільні та ґратчасті (рисунк 2).



Рисунок 2 – Класифікація за конструктивними ознаками

За технологічним критерієм виділяємо наступні конструкції: збірні та монолітні (рисунок 3).



Рисунок 3 – Класифікація за технологічним критерієм

За видом забезпечення стійкості виділено такі групи типів конструкцій: ті, що забезпечують місцеву стійкість; комбіновані; ті, що забезпечують загальну стійкість.

Найбільш перспективними матеріалами для зміцнення укосів на сьогоднішній день є різні геосинтетичні матеріали: геотекстилі, об'ємні георешітки, геомати, геокомпозити. Вони запобігають або уповільнюють процес ерозії ґрунту, запобігають взаємопроникненню матеріалів контактуючих шарів у період будівництва (технологічний прошарок) або в період будівництва та експлуатації (роздільний прошарок), запобігають кольматації (змив дрібних або мулистих частинок у пори, що призводить до зменшення фільтрації [2] дренажів (фільтр), запобігають виносу частинок ґрунту потоком (зворотний фільтр) [3].

Найбільш поширені способи зміцнення схилів та укосів.

Біотехнічне зміцнення – включає використання рослинності для захисту укосів від ерозії. Це екологічно чистий та ефективний спосіб, який також сприяє покращенню ландшафту. Біотехнічні методи зміцнення укосів являють собою екологічні та стійкі підходи до стабілізації схилів та запобігання ерозії. Ці методи поєднують у собі використання живих рослин та інженерних структур, створюючи живі системи, які з часом стають лише міцнішими. Основна ідея біотехнічного зміцнення полягає в тому, щоб використовувати біологічні процеси рослин для зміцнення ґрунту та покращення його властивостей. Принципи біотехнічного укріплення. Використання кореневої системи рослин: коріння рослин проникає в ґрунт, створюючи природну армуючу мережу, яка утримує частинки ґрунту та запобігає їх ерозії. Підвищення водопроникності ґрунту: рослини допомагають покращити дренаж, поглинаючи надлишки води та зменшуючи тиск насиченим водою ґрунту на укоси. Створення захисного шару: надземна частина рослин захищає ґрунт від прямого впливу дощу, вітру та сонячної радіації, знижуючи ризик поверхневої ерозії (рисунок 4).



Рисунок 4 – Біотехнічні методи укріплення

Геосинтетичні матеріали, такі як георешітки, геотекстиль, геомати, забезпечують зміцнення ґрунту та запобігають його розмиву. Інженерно-технічні споруди, включаючи підпірні стіни, анкерні системи та шпали, застосовуються для зміцнення крутих та вертикальних укосів. Ці матеріали, створені з полімерів, мають високу міцність, довговічність і гнучкість, що робить їх ідеальним вибором для широкого спектру додатків в геотехнічній інженерії. Геотекстиль є проникною тканиною, яка

використовується для розділення, фільтрації, зміцнення, захисту та дренажу. Геотекстилі запобігають змішуванню різних шарів ґрунту та сприяють ефективному відводу води, знижуючи тиск та запобігаючи ерозії. Георешітки використовуються для зміцнення ґрунту за рахунок створення армованого шару. Георешітки ефективно розподіляють навантаження, збільшуючи стійкість та несучу здатність ґрунту. Геомембрани – це непроникні полімерні плівки, які застосовуються для гідроізоляції та захисту від проникнення води. Вони запобігають ерозії та контролюють міграцію рідин. Геомати – тривимірні матеріали з відкритою структурою, що використовуються для захисту від ерозії поверхневих шарів ґрунту. Геомати сприяють утриманню ґрунту та стимулюють зростання рослинності. Геокомпозити комбінують властивості двох або більше геосинтетичних матеріалів, наприклад, геотекстилю та георешітки, забезпечуючи комплексне рішення для зміцнення, дренажу та фільтрації [3].

Геосинтетичні матеріали застосовуються для вирішення різних завдань у зміцненні укосів. Стабілізація ґрунту: георешітки та геотекстилі армують ґрунт, збільшуючи його стійкість до зсуву та запобігаючи обвалу. Контроль ерозії: геомати та геотекстилі захищають поверхню укосу від розмиву дощовою та поверхневою водою, сприяючи збереженню цілісності ґрунту. Дренаж: геокомпозити та геотекстилі забезпечують ефективне відведення води з ґрунту, знижуючи гідростатичний тиск та запобігаючи насиченню водою та розм'якшенню ґрунту. Гідроізоляція: геомембрани використовуються для запобігання проникненню води в чутливі до водонасичення шари ґрунту, захищаючи укоси від підмиву та ерозії (рисунок 5).



Рисунок 5 – Біотехнічні методи укріплення

Бетонні блоки та плити застосовуються для створення захисного шару на поверхні укосу. Вони можуть бути укладені з певним кроком для забезпечення дренажу та вентиляції ґрунту. Формовані бетонні елементи, такі як габіони або спеціальні ерозійно-стійкі блоки, призначені для захисту укосів від розмиву та сприяють зміцненню ґрунту.

Кам'яні конструкції включають кам'яну кладку, габіони і різні види облицювання укосів каменем. Ці методи поєднують у собі природну красу каменю з високою ефективністю захисту від ерозії. Кам'яна кладка може використовуватися для створення підпірних стін або облицювання укосів. Каміні укладаються вручну або з використанням спеціальної техніки, забезпечуючи міцність та стійкість конструкції. Габіони широко застосовуються для зміцнення берегів річок, схилів та укосів завдяки своїй гнучкості, міцності та здатності пропускати воду, що запобігає насиченню ґрунту та його розмив (рисунок 6). Облицювання укосів каменем не тільки захищає поверхню від ерозії, але й надає природного та естетично привабливого вигляду ландшафту.



Рисунок 6 – Влаштування габіонних конструкцій

Зміцнення укосів анкерами. Анкери (грунтові анкери або нагелі) - це елементи, які використовуються для створення попередньої напруги в ґрунті, що дозволяє збільшити його стійкість до зсуву та обвалення. Анкери встановлюються в попередньо пробурені свердловини і закріплюються в ґрунті, після чого натягуються, створюючи тим самим утримуючу силу. Використовуються для стабілізації крутих та високих укосів, де просте зміцнення ґрунту недостатньо. У районах з активними геологічними процесами, такими, як зсуви або ерозія. Під час будівництва підпірних стін та інших конструкцій, що вимагають додаткової стійкості. Перевагами даної технології є: ефективне збільшення стійкості ґрунту до зсувних навантажень. Можливість точного контролю натягу анкерів для оптимізації укріплювальних робіт. Порівняно швидке та економічне рішення для зміцнення укосів у складних умовах [2].

Зміцнення укосів з використанням паль та анкерів є комплексним підходом, який дозволяє вирішувати завдання щодо забезпечення стабільності та безпеки схилів у різних інженерних та природних умовах. Вибір методу та технології зміцнення залежить від безлічі факторів, включаючи характеристики ґрунту, кут та висоту укосу, а також специфічні вимоги проекту. Застосування паль та анкерів потребує ретельного проектування та розрахунків, а також використання спеціалізованого обладнання та високої кваліфікації виконавців. Анкери можуть застосовуватися для стабілізації укосів насипів та виїмок, забезпечуючи додатковий опір зсувним та виштовхуючим навантаженням. Анкери встановлюються в ґрунт і закріплюються в стійкіших шарах, створюючи тим самим надійну опору.

Висновки

Укріплення схилів доріг – це практика стабілізації схилів, що прилягають до доріг. Сотні ефективних методів стабілізації схилів доріг були розроблені та використовуються по всьому світу. Стабілізація схилів доріг може варіюватися від можливості відновити місцеву траву на порушеному схилі до будівництва інженерної стіни. Прийняті технологічні рішення залежать від ступеня руйнування ділянки схилу автомобільної дороги, вартості та доцільності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xu, X., K. Zhang, Y. Kong, J. Chen, and B. Yu, "Effectiveness of Erosion Control Measures Along the Qinghai–Tibet Highway, Tibetan Plateau, China," *Transportation Research Part D* 11, 2016, pp. 302–309.
2. Alberta Transportation, "Erosion and Sediment Control Methods," In *Design Guidelines for Erosion and Sediment Control for Highways*, Alberta Transportation, Edmonton, AB, Canada, 2013.
3. Berg, R.R., B.R. Christopher, and N.C. Samtani, *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Volume II*, Report FHWA-NHI-10-025, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2009.

REFERENCES

1. Xu, X., K. Zhang, Y. Kong, J. Chen, and B. Yu, "Effectiveness of Erosion Control Measures Along the Qinghai–Tibet Highway, Tibetan Plateau, China," *Transportation Research Part D* 11, 2016, pp. 302–309.

2. Alberta Transportation, “Erosion and Sediment Control Methods,” In Design Guidelines for Erosion and Sediment Control for Highways, Alberta Transportation, Edmonton, AB, Canada, 2013.
3. Berg, R.R., B.R. Christopher, and N.C. Samtani, Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Volume II, Report FHWA-NHI-10-025, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2009.

¹**Кучеренко Лілія Василівна** – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: liliya13liliya13@gmail.com, ORCID ID 0000-0003-0348-3610.

¹**Христич Олександр Володимирович** – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: dockhristich@i.ua, ORCID: 0000-0003-0166-547X.

²**Бабій Ігор Миколайович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури, email: igor7617@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-8650-1751.

¹**Лапина Ольга Іванівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобільних доріг та аеродромів Одеської державної академії будівництва та архітектури, email: o.i.lapina@ukr.net, ORCID: 0000-0002-40818187.

¹**L. Kucherenko**

¹**O. Khrystych**

²**I. Babii**

²**O. Lapina**

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR STRENGTHENING ROAD SLOPES

¹Vinnitsia National Technical University

²Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

The article examines the problems associated with the features of strengthening the slopes of highways. An analysis of the factors affecting the process of destruction of the slopes of the subgrade is performed. The classification of types of slope strengthening is studied. This will allow making optimal decisions regarding the application of technological solutions. The basic principles that must be followed when choosing specific technological solutions for strengthening the slopes of the roadbed have been formed.

Special attention is paid to modern technological solutions and materials used in this area, including biotechnical methods, geosynthetic materials, the use of concrete, stone, as well as the strengthening of piles and anchors. The advantages and areas of application, as well as technological solutions for slope reinforcement processes, are considered. The issue of slope reinforcement is of particular relevance, since it is necessary to prevent their destruction under the influence of natural and anthropogenic factors, such as: erosion, precipitation, changes in groundwater levels and vibrations from transport traffic. The inclined parts of road structures are one of the most vulnerable elements. The article is devoted to the use of modern materials for strengthening slopes in order to ensure reliable functioning of roads or their individual parts in different construction conditions and under different influences.

When implementing the selected technological solutions in practice, it is necessary to use the recommendations of regulatory literature on the design, construction and operation of highways.

Key words: slope reinforcement, highway, technological solutions.

¹**Liliya Kucherenko** – PhD, Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsa National Technical University. email: liliya13liliya13@gmail.com, ORCID ID 0000-0003-0348-3610.

¹**Oleksandr Khrystych** – PhD, Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsa National Technical University. e-mail: dockhristich@i.ua, ORCID: 0000-0003-0166-547X.

²**Ihor Babii** – PhD, Associate professor of the Department of Technology of Building Production of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: igor7617@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-8650-1751

¹**Olha Lapina** – PhD, Associate professor of the Department of Department of Highways and Aerodromes of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: o.i.lapina@ukr.net, ORCID: 0000-0002-40818187.