

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-302-308

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНИХ ПРОТИПРОСІДНИХ ЗАХОДІВ, ЯКІ
ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ
НА ЛЕСОВИХ ҐРУНТАХ

RESEARCH AND ANALYSIS OF ENGINEERING ANTI-SUBSIDENCE MEASURES APPLIED IN
ROAD CONSTRUCTION ON LOESS SOILS



Юрчук Віталій Васильович, аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: urcukvitalij6@ukr.net, тел. +380966611626

<https://orcid.org/0009-0008-8596-5296>



Петрович Володимир Володимирович, аспірант кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: menor@ukr.net, тел. +380930932262

<https://orcid.org/0009-0002-1513-2789>



Петрович Ігор Володимирович, аспірант кафедри системного проектування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: igor19932008@gmail.com, тел. +380663837188

<https://orcid.org/0009-0008-3551-3718>



Чечуга Євген Сергійович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: Cecugazena2@gmail.com, тел. +3800937533521

<https://orcid.org/0009-0008-6799-4843>

Анотація. Широке поширення лесових просідних структурно-нестійких при замочуванні ґрунтів на території нашої країни та недостатня забезпеченість нормативними документами щодо розрахунку проектування та будівництва автомобільних доріг на цих ґрунтах вимагає проведення наукових досліджень у цій галузі.

У зв'язку з цим нами ведуться дослідження щодо вивчення напружено-деформованого стану лесових основ насипів, зміни цього стану при зволоженні, а також характеру втрати стійкості земляного полотна при просіданні в його основі.

У цій роботі наводяться результати аналізу з вивчення напружено-деформованого стану основи насипу, закономірності протікання просідочного процесу в лесових основах високих насипів і характеру руйнування земляного полотна високих насипів. Даються деякі інженерні протипросідні заходи для застосування в дорожньому будівництві на лесових просідних ґрунтах.

Ключові слова: напружено-деформований стан лесових основ насипів, руйнування земляного полотна, інженерні протипросідні заходи, пілувато-глинисті ґрунти, лесові ґрунти, дренажні свердловини, ґрунтові палі, просідні властивості лесових ґрунтів.

Вступ. Розвиток економіки нашої країни вимагає від дорожніх проєктних, будівельних, експлуатаційних і науково-дослідних організацій підвищення стійкості та надійності земляного полотна. Важливість, складність та різноманіття факторів, від яких залежить стійкість земляного полотна, встановлює необхідність вести наукові дослідження в галузі його розрахунку, проєктування та спорудження.

Відомо, що причиною порушення стійкості земляного полотна на лесових ґрунтах може стати перерозподіл напружено-деформованого стану та виникнення великих за величиною і нерівномірних по характеру просідних деформацій їх основ при зволоженні.

У зв'язку з цим нами розглянуті деякі інженерні протипросідні заходи для застосування в дорожньому будівництві на лесових ґрунтах.

Аналіз результатів натурних експериментальних досліджень з вивчення лесових просідних ґрунтів в основі насипу у разі зволоження з кюветів з дренажними свердловинами. Рекомендуються конкретні інженерні протипосадкові заходи для застосування в дорожньому будівництві на лесових просідних ґрунтах.

Виклад основного матеріалу.

Просідні ґрунти. Просідними називають пілувато-глинисті ґрунти, які при замочуванні дають просідання (додаткову вертикальну деформацію). На відміну від звичайного осідання, просідання приводить до корінної зміни структури ґрунту. Просідання властива, насамперед, лесовим суглинкам і супіскам. Лише в окремих випадках вона може виникати в пілуватих пісках з високою структурною міцністю, а також у деяких техногенних ґрунтах (відходи промислового виробництва, насипні ґрунти й ін.) [1-5].

Значення лесових ґрунтів у будівельній практиці важко переоцінити. Займаючи величезні площі (як правило, у районах найбільш обжитих і густонаселених), вони нерідко служать причиною неприпустимих деформацій будівель і споруд. У багатьох випадках це пов'язано з недостатнім врахуванням їх специфічних особливостей і в першу чергу – просідання.

Лесові (нім. loss – пухкий, незв'язний) ґрунти мають широке поширення на півдні України. Серед лесових відкладень розрізняють типовий лес, переважно еолового (вітрового) походження, та лесоподібні суглинки (перевідкладені первинні утворення). Різку границю між ними проводити важко, тому в інженерно-геологічних цілях їх звичайно поєднують єдиним терміном „лесові породи” або „лесові ґрунти” [1-5].

Досвід будівництва і експлуатації автомобільних доріг на лесових просідних ґрунтах диктує необхідність застосовувати протипросідні заходи, що забезпечують експлуатаційну придатність цих доріг шляхом виключення неприпустимих просідних деформацій основ земляного полотна. У процесі освоєння територій, складених просідними ґрунтами, при різних видах будівництва, у тому числі і автодорожнього, були розроблені різні протипросідні заходи. Ці заходи слід розділяти на водозахисні і на будівельні властивості, що їх змінюють, у необхідному напрямку.

Визначальною умовою при виборі протипросідних заходів при будівництві автомобільних доріг є тип ґрунтових умов щодо просідання, ймовірність замочування лесових ґрунтів на всю величину товщі просідання або частини останньої і можлива величина просідання основи. Вибір протипросідних заходів залежить також від величини початкового тиску просідання, від категорії дороги, висоти насипу і типу покриття.

Результати досліджень ефективності деяких інженерних протиосадових заходів дозволяють рекомендувати наступні з них, які виправдали себе в процесі експлуатації:

- витрамбування кюветів;
- влаштування кюветів у попередньо ущільнених ґрунтах;
- віддалення кюветів від земляного полотна;
- закріплення основ земляного полотна та кюветів хімічними реагентами або іншим способом;
- ущільнення лесових просідних ґрунтів земляного полотна важкими трамбовками (котками);
- ущільнення ґрунтовими палями;
- регулювання поверхневого стоку;
- зведення земляного полотна з дренажними конструкціями.

Витрамбування кюветів. Кювети відіграють важливу роль у запобіганні основ земляного полотна від замочування атмосферними та іншими поверхневими водами. При влаштуванні кюветів повинна виключатись інфільтрація вод з останньої через стінки та дно. Цьому сприяє влаштування кюветів шляхом їх витрамбовування. Швидкість витрамбування кюветів залежить від пористості та вологості ґрунту, висоти скидання і ваги застосовуваного трамбування. Залежно від форми останньої можна витрамбувати кювети прямокутного або трапецієподібного поперечного перерізу. Технологія витрамбовування кюветів не відрізняється від витрамбовування котлованів.

При витрамбовуванні кюветів ущільненням ґрунту повинні бути усунені їх просідні властивості в дні і стінках кюветів, для чого питома вага сухого ґрунту повинна бути не менше від 16,5 до 17,0 кН/м³. Витрамбуванням кюветів досягається також водонепроникність ґрунтів по їх периметру. Вертикальна та горизонтальна фільтрація в лесових ґрунтах після витрамбовування кюветів сильно знижується.

Влаштування кюветів у попередньо ущільнених ґрунтах. Завданням цього протипросідного заходу так само є виключення інфільтрації поверхневих вод в основі земляного полотна. При цьому усуваються просідні властивості і в основах кюветів. Для будівництва таких кюветів на їхній трасі просідні ґрунти ущільнюються важкими трамбовками на 0,3-0,5 м нижче за проєктну глибину дна цих кюветів. Вимога виконується до усунення просідних властивостей лесових ґрунтів. Після закінчення ущільнення ґрунтів звичайними землерийними механізмами виконується влаштування кюветів. Потім проводиться відсіпання земляного полотна. Будівництво кюветів може бути виконане і канавокопачем.

Віддалення кюветів від земляного полотна. Цим заходом зменшується або виключається замочування основи земляного полотна і всієї товщі ґрунтів, що залягають нижче полотна інфільтратом вод, які потрапляють в кювети.

Експериментальним шляхом було встановлено, що при віддаленні кюветів на 2-5 м від межі насипу забезпечуються умови, що виключають проникнення води з кюветів в основу земляного полотна. Стік поверхневих вод у віддалені кювети здійснюється створенням відповідних ухилів рельєфу.

Закріплення основ земляного полотна та кюветів хімічними реагентами або іншими способами. У деяких випадках виправдує себе метод закріплення основи земляного полотна та кюветів реагентом (як приклад), що є відходами виробництва нафтопереробної і нафтохімічної промисловості. Цей реагент характеризується в'язкими властивостями. Його щільність $1,08-1,14\text{г/см}^3$, кінематична в'язкість у межах 12-16 Сантисток с, час гелеутворення 5-6 годин, Рн більше 7, розчиняється в нафтопродуктах, не розчинний у воді.

Обробка основи земляного полотна, укосів та дна кюветів здійснювалася за допомогою ін'єкторів. Після обробки лесових просідних ґрунтів згаданим реагентом, що є малов'язкою, гідрофобною рідиною, ці ґрунти сильно знижували свої фільтраційні властивості, а просідність цих ґрунтів усувалася. Не виключається можливість для обробки основи земляного полотна і кюветів використовувати інші методи, що усувають просідні властивості лесових ґрунтів і ефективно знижують їх фільтраційні показники. До таких методів відносяться силікатизація ґрунтів, їх обробка рідким склом або іншими хімічними реагентами, що зарекомендували себе. У ряді випадків для цих цілей може бути виконано закріплення ґрунтів їх термічною обробкою або енергією вибуху.

Наведеними вище протиосідними заходами, не вичерпується перелік подібних заходів, які можуть застосовуватися для будівництва автомобільних доріг на лесових ґрунтах.

Ущільнення лесових просідних ґрунтів земляного полотна важкими трамбування. Цей метод усунення просідних властивостей лесових порід досить поширений і добре відомий. Тому немає потреби його описувати. Рекомендується його застосування для лесових ґрунтів з низькими значеннями (до $0,15\text{ МПа}$) початкового просідного тиску і мають щільність менше $14,5\text{ кН/м}^3$. Ущільнення просідних ґрунтів слід виконувати до щільності при якій просідочні деформації ґрунту виключаються. Практично це зазвичай досягається при питомій вазі сухого ґрунту не менше ніж від $16,5$ до $17,0\text{ кН/м}^3$. Цей метод рекомендується застосовувати для будівництва автомобільних доріг I, II і III категорій з досконалими дорожніми покриттями для ґрунтових умов I типу за просідністю і особливо при товщині деформованої зони менше 2 м.

При ґрунтових умовах II типу по просідку ущільнення основи земляного полотна важким трамбуванням може здійснюватися в комбінаціях з іншими протипросідними заходами (ґрунтовими палями, попереднім замочуванням, захистом основи від зволоження і т.д.).

Ущільнення ґрунтовими палями. Влаштування ґрунтових паль є надійним методом усунення просідних властивостей просідних товщ значної потужності, що залягають в основах земляного полотна. Ґрунтові палі влаштовують шляхом проходження свердловин і заповнення їх тіла місцевим ущільненим ґрунтом. Для ефективного ущільнення просідної товщі створенням навколо свердловин ущільнених зон, проходку свердловин доцільно здійснювати ударним способом, у тому числі з використанням інвентарної палі з розширенням у вістря. Крім усунення просідних властивостей цей метод дозволяє створити практично водонепроникний екран, що виключає фільтрацію води в основу земляного полотна. Ширина зони ущільнення визначається виходячи з необхідності розмістити на ній земляне полотно і кювети.

Протипросідний захід, що описується, рекомендується застосовувати для будівництва автомобільних доріг високих категорій з капітальним покриттям.

Регулювання поверхневого стоку. Регулювання поверхневого стоку є одним з рекомендованих протипросідних заходів, що захищає основу земляного полотна від замочування. Він включає в себе влаштування мережі каналів, у тому числі і нагірних, забиття усадкових тріщин поблизу траси автодороги, планування притрасової смуги, фітомеліорацію.

Канави є найпростішим дренажем відкритого типу та їх призначенням збирати і відводити атмосферні води. У ряді випадків канави можуть бути замінені лотками, особливо при крутому рельєфі, де вода в канавах може розмивати їх укоси та дно.

Укріплення канав може виконуватись засівом трав, щебенуванням дна, мощенням, бетоном та ін.

Таке ж укріплення може виконуватися і для кюветів.

Планування притрасової смуги для регулювання поверхневого стоку проводяться для ліквідації місць застою води. Планування сприяє зменшенню обводнення просідної товщі. Вона здійснюється засипкою з трамбуванням западин, ям, промоїн та інших понижень у мікрорельєфі притрасової смуги. Для засипання увігнутих форм мікрорельєфу використовуються місцеві ґрунти. Випуклі форми мікрорельєфу під час планування підлягають зрізуванню, для створення сприятливих ухилів.

При регулюванні поверхневого стоку часто необхідне забиття усадкових і просідання тріщин в межах притрасової смуги шириною 20-30 м по обидва боки дороги. Усадкові тріщини широко поширені в зонах посушливих територій. Тріщини забиваються зволеним лісоподібним суглинком або місцевою рідкою глиною, з наступним трамбуванням із зволоженням. Вузькі тріщини усадки можуть ліквідуватися легким зволоженням.

Для зменшення інфільтрації поверхневих вод на притрасовій смузі автомобільної дороги виконується фітомеліорація. Найбільш ефективним її різновидом є посів багаторічних трав з густою кореневою системою, що дає щільний дерновий покрив. До таких трав належать конюшина, пирій, колосок, люцерна та інші. Густий трав'яний покрив значно зменшує інфільтрацію в ґрунт поверхневих вод, він же перешкоджає розвитку тріщин від просідання.

Зведення земляного полотна з дренажними пристроями. Земляне полотно з дренажними пристроями можна рекомендувати при будівництві автомобільних доріг у лесових ґрунтах з потужністю до 20 м. і за гідрогеологічних умов (реальних або прогнозованих), коли близькість рівня підземних вод до основи земляного полотна може, у разі його підйому, замочити всю або частину товщі просідання і зумовити просідні деформації у зоні впливу автомобільних доріг.

Залежно від гідрогеологічних та морфологічних умов дренаж може бути горизонтальним або вертикальним. Не виключається при необхідності влаштування комбінованого вертикального дренажу з горизонтальним.

Найпростішим видом дренажу є влаштування кюветів уздовж земляного полотна. У деяких умовах (високий рівень підземних вод, глибокі кювети) кювети дренують підземні води. Застосування дренажного пристрою раціонально при проходженні траси автомобільних доріг мокрим косогором. Як правило, дренажні пристрої використовуються на обмежених ділянках траси автомобільних доріг.

Вертикальний дренажний пристрій виконується вертикальними дренами, що прорізають всю товщу просідного шару, прокладеними у земляному полотні.

Вертикальні дрени влаштовують забиванням інвентарних паль або віброзануренням спеціальним обсадною трубою, яку заповнюють гравієм або щебенем, а потім витягують, залишаючи стовп щебеню в лесових ґрунтах.

Найбільш зручно застосовувати спосіб занурення обсадної труби. При зануренні кінець труби закривають пробкою зі свіжого бетону, яка, доходячи до проектної позначки, легким посланням залишається на дні кожної дрени. Обсадні труби після заповнення щебенем або гравієм виймаються.

При влаштуванні вертикальних дрен на глибину до 12 м застосовують екскаватори Е-652 та Е-801 зі стрілою 18 м. При більшій глибині використовують крани типів СКГ-25 та СКГ-40. Направляюча і упорна вежа фіксує стрілу в робочому положенні і спрямовує рух віброзанурювача з обсадною трубою. Щебінь або гравій завантажують через вирву за допомогою малого екскаватора (Е-153) з об'ємом ковша 0,15 м³ або навантажувача.

До складу ланки для влаштування дренажів, крім цих машин, входять електростанція для живлення вібратора і пересувна бурова установка на автомобілі для влаштування свердловин віброзануренням. Діаметр вертикальних дренажів від 35 до 60 см, відстань між ними від 2 до 4 м. Дренажі розташовуються в шаховому порядку. Змінюючи відстань між дренажами, можна створити ущільнену ділянку основи.

При влаштуванні вертикальних дренажів шляхом продавливання ґрунту відбувається його ущільнення навколо свердловини.

Пристрій дренажу може бути влаштовано на водопроникній і водонепроникній основі. Враховуючи можливість замулення вертикальних дренажів, при їх розрахунку, дренажі можуть бути прийняті переривчастими, частково-переривчастими або стрічковими.

Висновки. За результатами проведених досліджень, зроблений аналіз інженерних протипросідних заходів, які застосовуються при будівництві автомобільних доріг на лесових ґрунтах. При цьому визначальною умовою при виборі протипросідних заходів при будівництві автомобільних доріг є тип ґрунтових умов щодо просідання, ймовірність замочування лесових ґрунтів на всю величину товщі просідання або частини останньої та можлива величина просідання основи. Вибір протипросідних заходів залежить також від величини початкового тиску на просідний ґрунт, від категорії дороги, висоти насипу і типу покриття.

Результати досліджень ефективності деяких інженерних протиосадкових заходів дозволяють рекомендувати розглянути в роботі, які виправдали себе в процесі експлуатації.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ Будівництво.
2. ДБН В.1.1-25-2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення.
3. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) Ґрунти. Класифікація.
4. ДСТУ Б В.2.1-23:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації.
5. Основи та фундаменти. Навчальний посібник для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / І.О.Парфентьєва, О.В. Верешко, Д.А. Гусачук – Луцьк: ЛНТУ, 2017.– 296с.
6. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Шкода, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. –Полтава: ПолтНТУ, 2004. –568 с.

RESEARCH AND ANALYSIS OF ENGINEERING ANTI-SUBSIDENCE MEASURES APPLIED IN ROAD CONSTRUCTION ON LOESS SOILS

Vitaly Yurchuk, postgraduate student of the International Transportation and Customs Control Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ureukvitalij6@gmail.com, tel.+380966611626, <https://orcid.org/0009-0008-8596-5296>.

Volodymyr Petrovych, postgraduate student of the Road Construction Materials and Chemistry Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: menor@ukr.net, tel.+380930932262, <https://orcid.org/0009-0002-1513-2789>.

Ihor Petrovych, postgraduate student of the System Design of Transport Infrastructure and Geodesy Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: igor19932008@gmail.com, tel.+380663837188, <https://orcid.org/0009-0008-3551-3718>.

Yevhen Chechuha, postgraduate student, Road Construction and Property Management Department of National Transport University, e-mail: Cecugazena2@gmail.com, tel.+3800937533521, <https://orcid.org/0009-0008-6799-4843>.

Abstract. The widespread distribution of loess collapsible and structurally unstable soils when saturated in our country, along with insufficient regulatory documentation for the design and construction of highways on these soils, necessitates scientific research in this field.

In this context, we are conducting studies to investigate the stress-strain state of loess embankment bases, the changes in this state upon moisture exposure, and the nature of stability loss of the roadbed during the subsidence of its base.

This paper presents the analysis results of the stress-strain state of embankment bases, the subsidence patterns in loess bases of high embankments, and the nature of roadbed destruction in high embankments. Some engineering anti-subsidence measures for use in road construction on loess collapsible soils are also provided.

Key words: stress-deformation of forest foundations in bulk, ruining of the subgrade, engineering anti-subsidence approaches, silt-clay soils, forest soils drained by boreholes, soil fires, subsidence of forest authorities Ground.

References

1. DBN V.2.3-4:2015. Avtomobil'ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya . Chastyna II Budivnytstvo.
2. DBN V.1.1-25-2009. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezhi inzhenernyy zakhyst terytoriy ta sporud vid pidtoplennya ta zatoplennya.
3. DSTU B V.2.1-2-96 (HOST 25100-95) Hrunty. Klasyfikatsiya.
4. DSTU B V.2.1-23:2009 Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennya koefitsiyenta fil'tratsiyi.
5. Osnovy ta fundamenti. Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv spetsial'nosti 192 «Budivnytstvo ta tsyvil'na inzheneriya / I.O.Parfent'yeva, O.V. Vereshko, D.A. Husachuk – Luts'k: LNTU, 2017.– 296s.
6. Inzhenerna heolohiya. Mekhanika hruntyv, osnovy i fundamenti: Pidruchnyk / M.L. Zotsenko, V.I. Kovalenko, A.V. Yakovlyev, O.O. Petrakov, V.B. Shvets', O.V. Shkoda, S.V. Bida, YU.L. Vynnykov. –Poltava: PoltNTU, 2004. 568 s