

ISSN 2786-4588 (Print)  
ISSN 2786-4596 (Online)

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський державний аграрно-економічний університет



# Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 4  
Частина 2



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2025

ISSN 2786-4588 (Print)  
ISSN 2786-4596 (Online)

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету  
(протокол № 1 від 29.08.2025 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2025. Вип. 4. Ч. 2. 342 с.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International  
(Республіка Польща)

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України  
з питань телебачення і радіомовлення № 2933 від 24.10.2024 року.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Херсонський державний аграрно-економічний університет  
(вул. Стрітенська, буд. 23, м. Херсон, 73006, office@ksaeu.kherson.ua, тел. +38(050) 571-19-13)

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України від 29.06.2021 № 735 (додаток 4)  
журнал внесений до переліку фахових видань України категорії «Б» (спеціальності:  
F3 – Комп'ютерні науки; F4 – Системний аналіз та наука про дані; G13 – Харчові технології;  
G19 – Будівництво та цивільна інженерія).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення  
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

#### Редакційна колегія:

**Дзюндзя О. В.** – доцент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент – головний редактор; **Антоненко А. В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу ПВНЗ «Київський університет культури», к.т.н., доцент; **Балихіна Г. А.** – провідний науковий співробітник відділення землеробства, меліорації та механізації апарату Президії НААН, к.т.н.; **Березовський Ю. В.** – доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., доцент; **Бровенко Т. В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного і туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв, к.т.н., доцент; **Вороненко М. О.** – доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук Херсонського національного технічного університету, к.т.н., доцент; **Гончаренко А. В.** – професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету, д.т.н., професор; **Гопеєнко В.** – проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи» Університету прикладних наук ISMA, Dr.sc.ing., професор (Рига, Латвійська Республіка); **Горальчук А. Б.** – професор кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Харківського державного університету харчування та торгівлі, д.т.н., професор; **Димова Г. О.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н.; **Коваленко О. О.** – завідувач кафедри біоінженерії і води Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор; **Ковальчук П. І.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., професор; **Кузьмич Л. В.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., доцент; **Кузьміна Т. О.** – професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Лобода О. М.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент; **Марсанов В. В.** – член спеціалізованої Вченої ради ДФ 67.052.003 Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Матяш Т. В.** – старший науковий співробітник, завідувач відділу інформаційних технологій та маркетингу інновацій Інституту водних проблем і меліорації НААН, к.т.н.; **Отрош Ю. А.** – начальник кафедри пожежної, профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України, д.т.н., професор; **Пневматікос Н.** – доцент кафедри будівництва Університету Західної Атики, к.т.н., доцент (Афіни, Греція); **Романенко Р. П.** – доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету, к.т.н.; **Степанчиков Д. М.** – доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, к.ф.-м.н., доцент; **Стригунівська О. В.** – Гірничо-металургійна академія імені Станіслава Сташиця, к.т.н., доцент (Краків, Республіка Польща); **Сурьянінов М. Г.** – завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор; **Ткаченко О. Б.** – професор, завідувачка кафедри технології вина та сенсорного аналізу Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., доцент; **Турченко В. О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

---

# БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

---

## CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624.138.23:624.012.25

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.27>

### ДОСВІД ПІДСИЛЕННЯ ЛЕСОВИХ ОСНОВ (НА ПРИКЛАДІ ПОЛТАВСЬКОГО ЛЕСОВОГО ПЛАТО)

---

**Біда С. В.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
Полтавського державного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0002-1597-9333

**Муравльов В. В.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
Полтавського державного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3221-0411  
Scopus-Author ID: 57215916650

**Попович Н. М.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
Полтавського державного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0001-6450-6332  
Scopus-Author ID: 57361665400  
Researcher ID: IAN-4297-2023

**Яхін С. В.** – кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії  
Полтавського державного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0002-0042-0844  
Scopus-Author ID: 57435434500  
Researcher ID: Q-5860-2016

*Значна частина території України з поверхні перекрита шаром лесових відкладів різної потужності. Ці відклади характеризуються особливими властивостями – вони володіють просіданням у сухому (твердому) стані, а при зволоженні переходять у категорію*

© Біда С. В., Муравльов В. В., Попович Н. М., Яхін С. В., 2025  
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

---

так званих «слабких» ґрунтів зі значною стисливістю. Ці особливості зумовлені процесами утворення лесових відкладів і можуть бути пояснені гіпотезами їх утворення. Леси утворюють декілька горизонтів, що пов'язано з періодами зледеніння на нашій планеті і перешаровуються за глинистими ґрунтами, що утворились у періоди потепління. З цієї точки зору характерною є будова Полтавського лесового плато, на якому можна виділити 2–3 «поверхні» лесових відкладів, верхній з яких розташований на глибині 4–9 м від поверхні. Зважаючи на інтенсивний розвиток будівництва, зміну конструктивних рішень будівель, збільшення поверховості, збільшення навантажень, проектувальники змушені використовувати пальові фундаменти збільшуючи довжину та розміри поперечного перерізу пал, що значно збільшує вартість та терміни будівництва. Тому одним із надійних та економічних рішень у цьому випадку є застосування підсилення основ, складених такими ґрунтами. Одним із надійних та ефективних способів підсилення додавання у ґрунт в'язучої речовини. Такі процеси можуть виконуватися за різними технологіями – звичайна, напірна та струменева цементація, одно-, дво-, та триструменеві, ЖЕТ-технології тощо. Однак у кожній з цих технологій є свої переваги і недоліки, що дозволяє їх застосовувати в одних випадках та робить неефективними у інших. Тому для вирішення проблеми закріплення ґрунтів було вибрано бурозмішувальну технологію, яка дозволяє контролювати якість утворення ґрунтоцементної суміші, виконувати підбір необхідної кількості води для оптимізації консистенції суміші та регулювати об'єм цементного розчину. Залежно від особливостей інженерно-геологічних умов розроблено технологію влаштування ґрунтоцементних елементів постійного та змінного поперечного перерізу, що дозволяє застосовувати такий метод підсилення як у сухих, так і в обводнених ґрунтах.

**Ключові слова:** лесові ґрунти, підсилення основ, ґрунтоцемент.

***Bida S. V., Muraylov V. V., Popovych N. M., Yakhin S. V. Experience in strengthening loess soil bases (Case Study of the Poltava loess plateau)***

*A significant part of Ukraine's territory is covered by loess deposits of varying thickness. These soils are characterized by specific properties: in a dry (solid) state they exhibit subsidence, while upon wetting they transform into so-called "weak" soils with high compressibility. These features are associated with the processes of loess formation and can be explained by hypotheses of their origin. Loess forms several horizons, which correspond to glaciation periods on our planet, and are interbedded with clay soils deposited during warmer intervals. The Poltava loess plateau is a characteristic example, where 2–3 "stories" of loess deposits can be distinguished, with the upper horizon occurring at a depth of 4–9 m below the surface.*

*With the intensive growth of construction, changes in structural design, an increase in building height, and higher applied loads, designers are often forced to use pile foundations, increasing both their length and cross-sectional dimensions. This substantially raises construction costs and duration. Therefore, one of the reliable and economical solutions is the reinforcement of foundations built on such soils. A proven and effective approach is the addition of binding agents into the soil mass. This can be performed using various technologies – conventional, pressure, and jet grouting (single-, double-, and triple-jet systems, JET technologies, etc.). However, each of these methods has its advantages and limitations, which makes them applicable in some cases but less effective in others.*

*To address the problem of soil stabilization, the deep soil mixing method was selected. This technology makes it possible to control the quality of the soil–cement mixture, determine the optimum water content to achieve the required consistency, and regulate the volume of the cement slurry. Depending on specific engineering and geological conditions, a technology has been developed for constructing soil–cement elements of both constant and variable cross-sections, which allows this reinforcement method to be applied in both dry and water-saturated soils.*

**Key words:** loess soils, foundation reinforcement, soil–cement.

**Вступ.** Близько 70 % території України складені з поверхні лесовими породами, однак різні території характеризуються різною кількістю «поверхів» лесових відкладів та значною різницею у їх потужності. Пояснити такі особливості геологічної будови території можна розглянувши гіпотези утворення лесових відкладів. За тривалу історію вивчення лесових ґрунтів було запропоновано не менше двадцяти різних гіпотез їхнього походження, серед яких до найбільш розповсюджених можна віднести водно-льодовикову та еолово-льодовикову [1].

Відносячи леси до еолових відкладів, засновник цієї теорії Ф. Ріхтгоффен не вважав вітер єдиним фактором розповсюдження лесових порід. Лесовий (пилюватий)

матеріал переноситься і відкладається в безстічних западинах вітром і дошовою водою і утримується там степовою рослинністю. Еолова гіпотеза знайшла багато послідовників серед вчених, які розвинули і доповнили її. Зокрема П. А. Тутковський вважав, що вітри розвівали льодовикові відклади і несли пил далеко від льодовикового покриву, де відкладали його, утворюючи лес. Американські вчені Ф. Леверетт, Т. Чемберлен та ін. вважали, що розповсюдження лесів відбувається за рахунок розвівання річкових і водно-льодовикових відкладів прилеглих долин. Ця гіпотеза добре пояснює покривне залягання лесів на великих площах і підкріплюється фактами швидкого накопичення в посушливих областях досить потужних шарів пилюватих опадів після проходження сильних пилових бур.

На думку вчених, що розглядають лес як породу, яка сформувалася у водному середовищі, розповсюдження товщі пилюватих осадових порід відбувся в результаті змивання і подальшого перевідкладання схилових порід, перенесення та накопичення мінерального матеріалу в річкових долинах і озерах, а також перенесення і накопичення лесових відкладів водно-льодовиковими потоками. Існує також точка зору, що лес – це принесений пил, але перевідкладений водними потоками. Доказом такої гіпотези є наявність у лесових ґрунтах зв'язків сольового типу.

Леси та лесовані відклади утворили кілька горизонтів. Лесові породи, які мають світлий колір, чергуються з відкладами лесовидних порід, які мають в основному темне, коричневе забарвлення і характеризуються багатьма дослідниками як викопні ґрунти. Таке нашарування пояснюється чергуванням льодовикових періодів і періодів потепління клімату на Землі. Кожного разу після відступу льодовиків у період потепління на території України інтенсивно розвивалась рослинність, що різко зменшувало вплив геологічної діяльності вітру та зумовлювало утворення органомісних порід. Завдяки діяльності поверхневих вод відбувалось часткове перенесення і перевідкладення лесових ґрунтів, однак на більшій частині території лесові відклади перекривались більш тонкодисперсними глинистими ґрунтами. Очевидно, що утворенню глинистих ґрунтів сприяла наявність рідкої води, що давало поле діяльності хімічному вивітрюванню.

Під час наступного періоду зледеніння знову поверхню покривали лесові відклади, які утворювались у результаті фізичного руйнування гірських порід льодовиками. Таким чином, вивчаючи інженерно-геологічну будову, ми зустрічаємося з декількома горизонтами лесових відкладів, кількість яких відповідає кількості зледенінь.

Однією із характерних територій, складених лесовими породами є Полтавське лесове плато, інженерно-геологічні умови якого представлені такими ґрунтами:

З поверхні територію покриває ґрунтово-рослинний шар (ІГЕ № 1) потужністю до 1,5 м. У населених пунктах він часто замінений техногенними відкладами що складаються із насипних ґрунтів різноманітного походження (піски, суглинки) та будівельного сміття (бита цегла, уламки конструкцій, щебінь тощо). Значна частина насипних ґрунтів залишається на майданчиках після демонтажу приватних будівель чи промислових об'єктів і використовується для засипання підземних виробок та вирівнювання рельєфу.

ІГЕ № 2 – Суглинок від світло-коричневого до коричневого напівтвердий, непросадочний, що залягає до глибини 4,0–4,5 м від поверхні землі. Цей ґрунт у другій половині ХХ століття використовувався у якості природної основи для фундаментів будівель житлової забудови висотою до чотирьох поверхів і споруд промислового призначення оскільки навантаження від таких будівель порівняно невеликі за значенням.

ІГЕ № 3 – Суглинок жовтий, лесовий, карбонатизований, напівтвердий (текучопластичний чи текучий у зволоженому стані), просадочний. Залягає на глибині 4,0–9,0 м від поверхні землі. При зволоженні у результаті підняття рівня ґрунтових вод переходить у категорію «слабких» ґрунтів. Додаткові ускладнення створюються в населених пунктах, що у давні часи були козацькими фортецями. У таких місцях у лесових ґрунтах влаштувалась система підземних ходів, адже цей ґрунт порівняно легкий для розробки і у сухому стані легко тримає вертикальний укіс. У зв'язку з антропогенним підвищенням рівня ґрунтових вод, вода, що потрапляє до підземних ходів, легко розмиває їх стінки, утворюючи численні провали на поверхні.

ІГЕ № 4 – Суглинок коричневий, важкий, пілуватий, тугопластичний має потужність до 4,0 м (залягає на глибині 8,0–12,0 м від поверхні землі) і використовувався у кінці ХХ – на початку ХХІ століть як основа для пальових фундаментів 9–12-поверхових житлових будівель. Під ним залягає «другий лес», що на значній частині території знаходиться нижче рівня ґрунтових вод, який, у свою чергу, підстиляється червоно-бурими четвертинними глинами з глибини 16,0–20,0 м від поверхні землі.

**Постановка проблеми.** Основною «проблемою» при будівництві у описаних вище інженерно-геологічних умовах є присутність у інженерно-геологічному розрізі ґрунтів ІГЕ № 3 – лесових суглинків. Більшість околиць м. Полтава межує з балками, які виконують роль природної дренажної системи, тому рівень ґрунтових вод знаходиться на глибині 12,0–18,0 м від поверхні землі, а лесовий суглинок перебуває у твердому чи напівтвердому стані. Він володіє значною просадочністю, що виражається у величині просідання від власної ваги у межах 7,0–10,0 см, тобто за попередніми нормами ґрунтові умови відносились до II типу за просадочністю і потребували додаткових заходів для уникнення негативного впливу просідання. Це чітко проявилось у 70-і – 90-і роки минулого століття, коли внаслідок підняття рівня ґрунтових вод (з антропогенних причин) будівлі у центральній частині Полтави почали отримувати додаткові деформації, що призвело до появи тріщин у несучих і огорожуючих конструкціях, необхідності підсилення будівель і споруд, а у деяких випадках і до їх демонтажу.

З іншого боку, при зволоженні лесові ґрунти набувають текучопластичної, а часто і текучої консистенції та переходять у категорію «слабких» ґрунтів, адже їх модуль деформації знижується до 2,0–4,0 МПа, що ставить нові завдання при зведенні будівель і споруд.

Враховуючи сучасні тенденції у будівництві – зміну конструктивних рішень будівель, збільшення поверховості, що загалом призводить до збільшення навантажень, проєктувальники змушені у таких інженерно-геологічних умовах у якості фундаментів використовувати палі збільшеного поперечного перерізу (35 × 35, 40 × 40 см) вістря яких занурене на глибину 15,0–18,0 м. Влаштування таких фундаментів значно збільшує вартість та терміни будівництва, а це спонукає до пошуку більш економічних та інноваційних рішень у фундаментобудуванні.

**Метою** даних досліджень є аналіз існуючих методів підсилення ґрунтів основи та вибір найбільш ефективного і економічного варіанту, що дозволив би з одного боку підвищити несучу здатність основи, складеної лесовими ґрунтами, а з іншого – забезпечити її надійність з урахуванням змін гідрогеологічних умов.

**Виклад основного матеріалу.** Одним із прийнятних варіантів є підсилення слабких ґрунтів для покращення їх характеристик міцності і деформативності. Особливу увагу необхідно звернути на те, що лесові ґрунти в сухому стані володіють просадочними властивостями, а у зволоженому – відносяться до «слабких»

ґрунтів. Тобто треба підібрати спосіб підсилення, який був би ефективним в обох випадках.

Підсилення ґрунту виражається у створенні штучної основи, що можливо виконати шляхом зневоднення ґрунту, його термічної обробки, електрохімічного закріплення чи нагнітанням у ґрунт в'язучої речовини. Ці варіанти підсилення розглянуто у загальній класифікації фундаментів і штучних основ, що запропонована професором Зоценком М. Л. [2]. Зневоднення ґрунту та електрохімічне закріплення актуальні лише в умовах високого рівня ґрунтових вод і в даних умовах потребують постійних затрат, адже необхідно весь час проводити його зниження на значних територіях чи тривалий час піддавати ґрунти основи дії електричного струму. Окрім того, електрохімічне закріплення потребує значних об'ємів металу (електроди чи металеві палі, тощо). Термічна обробка виконується одноразово, забезпечуючи уникнення у подальшому проявлення просадочних властивостей ґрунту, однак потребує значних затрат і на протилежність від зневоднення не використовується на підтоплених територіях. Тому одним із найбільш розповсюджених і простих у виконанні є закріплення ґрунтів, що здійснюється нагнітанням у ґрунт в'язучих речовин, а найбільш доступним і розповсюдженим в'язучим є цемент. Таким чином, можна зробити висновок, що одним із найбільш доступних методів є цементация ґрунтів [3–7]. Інколи у склад ґрунтоцементу вводять різноманітні добавки з урахуванням умов роботи конструкцій [8–10].

Звичайною цементацияю закріплюються масиви проникних ґрунтів шляхом ін'єкції цементного розчину, під тиском до 0,4 МПа, однак фільтраційні властивості лесового суглинку недостатні для якісного проведення таких робіт.

В Україні запатентована технологія «Ін'єкт» – підсилення основи шляхом нагнітання цементно-силікатних, піщано-цементно-силікатних розчинів та особливих геліокомполімерів ін'єктуванням у просадочні та насипні ґрунти під тиском 0,1–0,8 МПа крізь свердловини малих діаметрів. Але залишаються питання щодо ефективності цієї технології з точки зору ґрунтознавства і технічної меліорації ґрунтів.

Використання напірної цементацияї (коли цементний розчин під значним тиском розриває слабопроникні ґрунти, заповнюючи розриви) не гарантує утворення суцільного тіла, оскільки при цьому утворюється мережа цементних заповнень у вигляді коріння, що має асиметричний характер.

Створення окремого ґрунтоцементного елемента зі значно більшими механічними властивостями відносно ґрунту можна досягти шляхом використання струменевої цементацияї (JET GROUTING), що ґрунтується на використанні енергії високонапірного струменя (35–70 МПа), який одночасно руйнує і переміщує ґрунт з цементним розчином у режимі mix-in-place (перемішування на місці) [11].

JET-технології (одно-, дво-, та триструменеві) ґрунтуються на подачі у ґрунтовий масив цементного розчину під високим тиском. Але якщо при одноструменевій технології подається лише сам цементний розчин, то для покращення процесу перемішування зруйнованого ґрунту з цементним розчином у дво- та триструменевій технології додається повітряний струмінь, а у випадку малопроникних ґрунтів використовують триструменеву технологію з використанням енергії струменя води. Така технологія дозволяє отримати у ґрунтовому масиві елементи діаметром від 0,5–0,8 м у першому випадку до 0,8–1,5 м у другому та 1,2–2,5 м за використання триструменевої технології. Однак виконання таких робіт потребує спеціального обладнання та високої кваліфікації виконавців. Окрім того з підвищенням тиску подачі розчину, повітря і води значно збільшуються втрати самого цементного розчину, який частково виходить на поверхню у вигляді ґрунтоцементної пульпи,

а частково виходить за межі ґрунтоцементного елемента у послаблені зони ґрунтового масиву.

Струменеві технології необхідно обережно використовувати на забудованих територіях, оскільки струмінь рідини, поданий під значним тиском, може зруйнувати ґрунтову основу існуючих будівель.

Тому для вирішення проблеми закріплення ґрунтів було акцентовано увагу на бурозмішувальній технології, яка дозволяє з одного боку контролювати якість утворення ґрунтоцементної суміші шляхом регулювання кількості проходів у по довжині ґрунтоцементного елемента, підбору необхідної кількості води для різної консистенції ґрунту та регулювання необхідного об'єму цементного розчину [12–15]. Використання такої технології також більш надійно забезпечує постійність поперечного перерізу ґрунтоцементного елемента по всій його довжині.

При використанні бурозмішувальної технології використовується спеціальна бурова насадка зі стаціонарними лопатями (ножами), яка закріплена на пустотілій циліндричній штанзі (рис. 1).

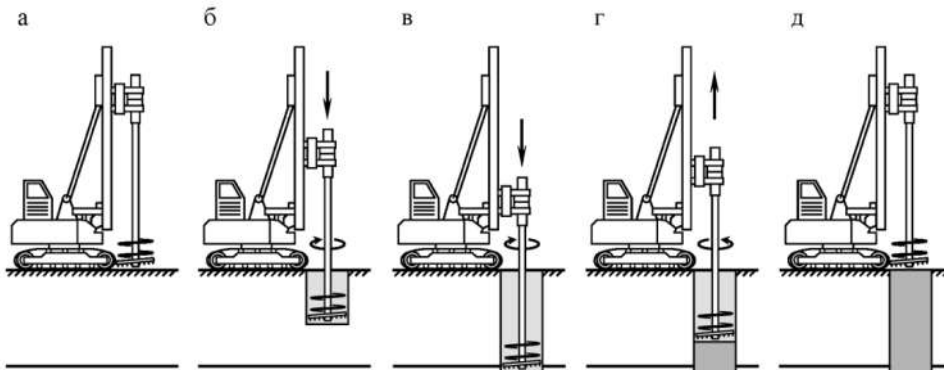


Рис. 1. Технологія влаштування ґрунтоцементного елемента бурозмішувальним методом: а) – встановлення бурозмішувача в робоче положення; б) – початок занурення бурозмішувача в ґрунтову основу та її змішування з водоцементною суспензією; в) – досягнення відмітки низу закріплення; г) – зворотне змішування ґрунту з водоцементною суспензією; д) – виготовлений ґрунтоцементний елемент

У процесі розпушування ґрунту руйнуються зв'язки між окремими його складовими частинами та утворюються порожнини, які у подальшому сприятимуть рівномірному розповсюдженню цементного розчину. Для якісного розпушування ґрунту можливе виконання декількох проходів бурової насадки за всю довжину ґрунтоцементного елемента. Після виконання розпушення у робочу зону бурової насадки крізь вертлюг та пустотілу штангу розчинонасосом нагнітають водоцементну суспензію, паралельно опускаючи (чи піднімаючи) штангу. Таким чином цементний розчин ретельно перемішується із пухким ґрунтом. За необхідності цю операцію також можливо повторити декілька раз. Останній прохід бурової колонки проводять «знизу вгору» за зниженої швидкості підняття штанги для ущільнення отриманої ґрунтоцементної суміші. Влаштування ґрунтоцементних елементів у сухому ґрунті (твердій консистенції) може виконуватися з подачею цементного розчину або води починаючи з першого проходу для зменшення опору різанню ґрунту у робочій зоні бурової насадки.

Така технологія виправдовує себе у сухих лесових ґрунтах (твердої і напівтвердої консистенції), адже пористість таких ґрунтів становить 40–60 % і пори не зайняті водою, що дозволяє ефективно розпушувати ґрунт і додавати у нього необхідну кількість в'язучого. Але у ґрунті, який розміщений нижче рівня ґрунтових вод пори майже повністю заповнені водою, тому рецептура розчину, що подається через штангу, повинна бути розроблена з урахуванням наявності води у ґрунті. Окрім того, перехід ґрунту у категорію «слабкого» потребує влаштування ґрунтоцементних елементів більшого діаметру, що теж накладає свої вимоги. У такому випадку можна скористатися іншим методом підсилення ґрунту за бурозмішувальною технологією (рис. 2).

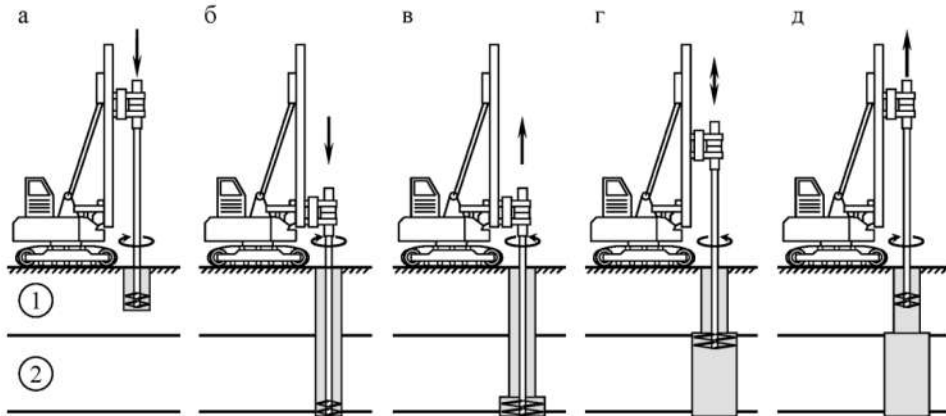


Рис. 2. Технологія влаштування розширеного ґрунтоцементного елемента у слабких ґрунтах: а-б) занурення бурозмішувача в ґрунтову основу зі складеними ножами; в) розкладання ножів шляхом зворотного обертання штанги; г) влаштування розширеного ґрунтоцементного елемента у слабкому шарі; д) складання ножа та підйом штанги; 1 – несучий шар ґрунту; 2 – слабкий шар ґрунту

Буріння свердловини для розпушення ґрунту виконується на мінімально допустимих розмірах штанги і бурової насадки. Коли свердловина досягає проектної відмітки, зворотнім обертанням штанги висуваються додаткові ножі більшого діаметра і виконується розпушування ґрунту в межах товщі «слабкого ґрунту». Таким чином, використовуючи два змінні комплекти бурових насадок ми можемо підсилити ґрунти різного стану з утворенням ґрунтоцементних елементів різного поперечного перерізу.

Для інженерно-геологічних умов, що характеризуються наявністю обводненого лесового ґрунту, технологія влаштування ґрунтоцементних елементів буде мати такий алгоритм:

- опускання штанги з буровою насадкою до підшви слабкого шару (що легко контролюється зусиллям буріння);
- зворотнім обертанням штанги з використанням висувних ножів більшого діаметру влаштовується ґрунтоцементний елемент у шарі слабкого ґрунту з використанням рецептури цементного розчину з урахуванням створення необхідного водо-цементного відношення у насиченому водою ґрунті;
- після влаштування нижньої частини ґрунтоцементного елемента штанга підіймається на поверхню для заміни бурової насадки з висувними ножами на

звичайну і влаштовується верхня частина ґрунтоцементного елемента з використанням рецептури цементного розчину з урахуванням вологості верхнього шару ґрунту.

Для забезпечення цілності ґрунтоцементного елемента при влаштуванні верхньої частини її глибина розраховується з умови «заглиблення» у нижню частину на глибину до 0,5 м.

Таким чином можна зробити **висновок** про універсальність методу закріплення ґрунтової основи ґрунтоцементними елементами, виконаними за бурозмішувальною технологією, за наявності необхідних просадочних і слабких, насичених водою ґрунтів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Біда С. В., Куц. О. В., Підрійко К. В. Особливості виникнення та розвитку зсувних процесів на схилах, складених лесовими відкладами. *Вісник Дніпропетровського університету. Сер.: Геологія. Географія*. 2014. Вип. 16, т. 22. № 3/2. С. 162–167.
2. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник для студентів вищих навчальних закладів / за ред. М. Л. Зоценка. Полтава : ПНТУ, 2004. 562 с.
3. Зоценка М. Л. Ґрунтоцемент – конструктивний і гідроізоляційний матеріал при будівництві підземних споруд. *Будівельні конструкції*. 2016. Вип. 83(2). С. 296–316.
4. Кірічек Ю. А., Комісаров Г. В. Конструкції з ґрунтоцементу для зведення фундаментів будівель і споруд. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 3. С. 42–50.
5. Zotcenko M., Petrash S., Petrash P., Petrash O. Normative observations of deepsoilmixing technology of soilcement piles manufacturing. *Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2017. Т. 3. № 45. С. 212–217.
6. Do H. H., Pham T. A. Investigation of performance of soilcement pile in support of foundation systems for highrise buildings. *Civil Engineering Journal*. 2020. Vol. 6. No 9. P. 686–700.
7. Zuo J., Wang B., Li W., Han S., Wang J., Zhang F. Quality assessment and quality control of deep soil mixing columns based on a cementcontent controlled method. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Art. 4813.
8. Zotsenko M., Mykhailovska O., Shirinzade I., Lartseva I. Influence of Fly Ash Additives on Strength Characteristics of Soil–Cement as a Material for Waste Storage Construction. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. С. 457–464.
9. Новицький О. П. Вплив пластифікуючих добавок на міцність ґрунтоцементу. *Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування, будівництво)*. 2012. Вип. 4 (34). С. 171–177.
10. Масєвська І. В., Очеретний В. П., Гончарук М. С. Визначення впливу добавок золи винесення на властивості ґрунтоцементу. *Іноваційні технології в будівництві: тези міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 14 листопада 2018 р. Вінниця, 2018.*
11. Зуєвська Н. В., Шайдецька Л. В., Губашова В. Є. Перспективи застосування струменево-цементацийного закріплення ґрунтових основ. *Геоінженерія*. 2020. № 3. С. 13–19.
12. Zotsenko N., Vynnykov Yu., Zotsenko V. Soil-cement piles by boring-mixing technology Energy, energy saving and rational nature use. *Oradea University Press*. 2015. P. 192–253.
13. Зоценка М. Л., Винников Ю. Л., Зоценка В. М. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом : монографія. Харків : Друкарня Мадрид, 2016. 94 с.

14. Біда С. В., Великодний Ю. Й., Ларцева І. І., Ягольник А. М., Пальцун О. А. Закріплення схилів ґрунтоцементними елементами, виготовленими за бурозмішувальною технологією. *Нові технології в будівництві*. 2017. № 32. С. 101–106.

15. Петраш Р. В., Петраш О. В., Шульгін В. В., Бондар Л. В., Яхін С. В. Ефективність використання ґрунтоцементу при будівництві споруд сільськогосподарського призначення. *Комунальне господарство міст*. 2025. № 3(191). С. 390–395.

#### REFERENCES:

1. Bida S. V., Kuts O. V., Pidriyko K. V. (2014). Osoblyvosti vynyknennya ta rozvytku zsvnykh protsesiv na skhylakh, skladenykh lesovymy vidkladamy [Peculiarities of the occurrence and development of landslide processes on slopes composed of loess deposits]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu – Bulletin of Dnipropetrovsk University*, 3/2, 162–167 [in Ukrainian].

2. Zotsenko M. L., Kovalenko V. I., Jakovlev A. V., Petrakov O. O., Shvets V. B., Shkola O. V. et al. (2004). *Inzhenerna heolohiya. Mekhanika gruntiv, osnovy ta fundamenti [Engineering geology. Soil mechanics, bases and foundations]*. Poltava, PNTU [in Ukrainian].

3. Zotsenko M. L. (2016). Gruntotsement – konstruktyvnyy i hidroizolyatsiynyy material pry budivnytstvi pidzemnykh sporud. *Budivel'ni konstruktsiyi*, 83(2), 296–316 [in Ukrainian].

4. Kirichuk Yu. A., Komissarov H. V. (2019). Konstruktsiyi z gruntotsementu dlya zvedennya fundamentiv budivel' i sporud [Soil-cement structures for the construction of foundations of buildings and structures] *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of the Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 3, 42–50 [in Ukrainian].

5. Zotcenko M., Petrash S., Petrash P., Petrash O. Normative observations of deepsoilmixing technology of soilcement piles manufacturing. *Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2017. T. 3. № 45. С. 212–217.

6. Do H. H., Pham T.A. Investigation of performance of soilcement pile in support of foundation systems for highrise buildings. *Civil Engineering Journal*. 2020. Vol. 6. No 9. P. 686–700.

7. Zuo J., Wang B., Li W., Han S., Wang J., Zhang F. Quality assessment and quality control of deep soil mixing columns based on a cementcontent controlled method. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Art. 4813.

8. Zotsenko M., Mykhailovska O., Shirinzade I., Lartseva I. Influence of Fly Ash Additives on Strength Characteristics of Soil–Cement as a Material for Waste Storage Construction. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. С. 457–464.

9. Novyts'kyi O. P. (2012). Vplyv plastyfikuyuchykh dobavok na mitsnist' gruntotsementu [The influence of plasticizing additives on the strength of soil cement]. *Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo – Industrial mechanical engineering, construction*, 4 (34), 229–241 [in Ukrainian].

10. Mayevs'ka I. V., Ocheretnyy V. P., Honcharuk M. S. (2018). Vyznachennya vplyvu dobavok zoly vynesennya na vlastyvosti gruntotsementu [Determination of the influence of fly ash additives on the properties of soil cement]. *Inovatsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi – Innovative technologies in construction* [in Ukrainian].

11. Zuyevs'ka N. V., Shaydets'ka L. V., Hubashova V. Ye. (2020). Perspektyvy zastosuvannya strumenevo-tsementatsiynoho zakriplennya gruntovykh osnov [Prospects for the application of jet cementing consolidation of soil bases]. *Heoinzheneriya – Geoengineering*. 3, 13–19 [in Ukrainian].

12. Zotsenko N., Vynnykov Yu., Zotsenko V. Soil-cement piles by boring-mixing technology Energy, energy saving and rational nature use. *Oradea University Press*. 2015. P. 192–253.

13. Zotsenko M. L., Vynnykov Yu. L., Zotsenko V. M. (2016). *Burovi gruntotsementni pali, yaki vyhotovlyayut'sya za burozmishuval'nym metodom [Bored soil-cement piles,*

*which are manufactured using the drilling-mixing method*]. Kharkiv : Drukarnya Madryd [in Ukrainian].

14. Bida S. V., Velykodnyy Yu. Y., Lartseva I. I., Yahol'nyk A. M., Pal'tsun O. A. (2017). Zakriplennya skhyliv hruntotsementnyimi elementamy, vyhotovlenymi za burozmishuval'noyu tekhnolohiyeyu [Securing slopes with soil-cement elements manufactured using drill-mixing technology]. *Novi tekhnolohiyi v budivnytstvi – New technologies in construction*, 32, 101 – 106 [in Ukrainian].

15. Petrash R. V., Petrash O. V., Shul'hin V. V., Bondar L. V., Yakhin S. V. (2025)/ Efektyvnist' vykorystannya gruntotsementu pry budivnytstvi sporud sil's'kohospodars'koho pryznachennya [Efficiency of using soil cement in the construction of agricultural buildings]. *Komunal'ne hospodarstvo mist – Municipal economy of cities*, 3(191), 390–395 [in Ukrainian].

*Дата першого надходження рукопису до видання: 24.08.2025*

*Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 19.09.2025*

*Дата публікації: 30.10.2025*

<b>Соломон А. М., Козлов О. В.</b> Антиоксидантний потенціал молочних продуктів та молока.....	170
<b>Стукальська Н. М., Ткаченко В. В.</b> Розширення асортименту борошнених кулінарних виробів категорії Free from з використанням автентичних прянощів ..	178
<b>Тараймович І. В., Логвиненко Д., Кривохижа Є. М.</b> Енергоефективні технології в харчовій промисловості.....	187
<b>Ткаченко О. Б., Ткаченко Д. П., Алексович В. В.</b> Аналіз впливу дубової витримки на органолептичні показники моносортових вин з різних винних регіонів України .....	198
<b>Цуман-Петрова Б. В., Мамченко Л. Є., Неміріч О. В., Кузьмін О. В., Наконечна А. С., Ройко О. М.</b> Розширення асортименту інноваційного млинчикowego напівфабрикату для закладів ресторанного господарства з українською кухнею .....	216
<b>Юхно В. М., Калашник О. В., Кайнаш А. П., Тюрікова І. С., Ліб Ю. С.</b> Дослідження якості та безпечності крафтового пива, виготовленого на міні-підприємстві .....	226
<b>ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	236
<b>Кравченко В. І.</b> Застосування осадів стічних вод для підвищення енергоефективності роботи комунальних очисних споруд.....	236
<b>Литвиненко В. М.</b> Дослідження низькотемпературних методів гетерування .....	243
<b>БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ</b> .....	250
<b>Біда С. В., Муравльов В. В., Попович Н. М., Яхін С. В.</b> Досвід підсилення лесових основ (на прикладі Полтавського лесового плато) .....	250
<b>Гасенко А. В., Гасенко Л. В.</b> Математична модель самонапруженої власною вагою нерозрізної сталезалізобетонної плити перекриття захисних споруд цивільного захисту.....	260
<b>Гасенко А. В., Кудінова А. О., Гасенко Л. В., Пігуль О. В.</b> Управління територіальним плануванням житлових масивів із визначенням потреб у спорудах цивільного захисту в контексті сталого розвитку .....	268
<b>Голик Й. М.</b> Факторно-аналітичне моделювання розвитку агломерацій у системі територіального планування .....	276
<b>Завальний О. В., Кондращенко О. В., Панкєєва А. М.</b> Планувально-економічні аспекти розвитку агломерацій у контексті післявоєнної відбудови: виклики та можливості .....	286
<b>Клімченко Н. О.</b> Необхідність оновлення нормативної бази у сфері топографо-геодезичної діяльності України в умовах цифрової трансформації .....	294
<b>Овсій Д. М., Река А. В.</b> Підвищення міцності на вигин сталевих двутаврових балок, посилені додатковим поздовжнім армуванням під навантаженням .....	302