

**МЕТОД ЛІКВІДАЦІЇ ПРОСАДКОВОСТІ ЛЕСОВИХ ОСНОВ
ВЕРТИКАЛЬНИМ АРМУВАННЯМ**

І. В. Маєвська, О. М. Батрак

Обґрунтовано використання вапняних паль в вологих ґрунтах. Наведена технологія улаштування вапняних паль.

Обосновано использование известковых свай во влажных грунтах. Приведена технология устройства известковых свай.

The author suggests using lime piles in moist soils. Present technology of lime piles.

Вступ

Вивчення і розробка нових методів і способів влаштування фундаментів є важливою частиною розвитку будівництва в цілому. Одним із варіантів підвищення ефективності влаштування фундаментів є покращення фізико-механічних властивостей основ. Зокрема, важливим є дослідження можливості будівництва на просадочних ґрунтах. Покращення фізико-механічних властивостей просадочних ґрунтів дало б можливість значно розширити зони будівництва і зводити будівлі в тих місцях, які раніше були непридатними для будівництва.

Структурно-нестійкі ґрунти мають здатність змінювати свої структурні властивості під впливом зовнішніх впливів з розвитком значних осідань, що протікають, як правило, з великою швидкістю. До структурно-нестійких належать слабкі сильно стисливі глинисті ґрунти, лесові просадочні, водонасичені біогенні, засолені, набухаючі і вічномерзлі ґрунти. Вони використовуються як основи будівель та споруд за умови врахування можливого порушення структури та розвитку значних і нерівномірних осадок. Оскільки на більшій частині території України переважають просадочні типи ґрунтів, то покращення властивостей таких ґрунтів забезпечить будівельну галузь України великою кількістю площі, повністю придатної для будівництва, що в свою чергу приведе до значного економічного ефекту, що також є дуже важливим.

Оскільки на даний момент підсилення просадочних ґрунтів потребує суттєвих затрат, а існуючі технології є досить дорогими, це дає можливість працювати на удосконалення даного напрямку і шукати оптимальний варіант вирішення даної проблеми.

Історичний практичний досвід використання вапна для підсилення лесових основ

Покращення властивостей ґрунтів може бути досягнена різними шляхами: введення різних в'язучих добавок та корінна видозміна вихідного ґрунту.

Основними методиками, які використовуються для підсилення слабких ґрунтів, є: цементация, силікатизация, заморожування, кольматація, електрохімічне закріплення, електроіскрова обробка, бітумізація, смолізація, термічне зміцнення, газова стабілізація, вапнування та ін. [2].

Окремо слід виділити методи підсилення ґрунтів шляхом влаштування ґрунтових, піщаних і вапняних паль.

На теренах бувшого Радянського Союзу питаннями стабілізації слабких ґрунтів займалися такі вчені: Ю. М. Абельєв, С. Д. Воронкевич, Г. Н. Жинкін, В. Ф. Калганов, М. Н. Першин, Б. А. Ржаніцин, А. Н. Соколовський, А. Н. Токін, а за кордоном – А. Добсон, Л. Казагранде та ін.

Вапнування ґрунту

При обробці глинистих ґрунтів вапном забезпечується коагуляція глинистих частинок, знижується липкість ґрунтів, усуваються усадка і набухання ґрунтів. Традиційно при вапнуванні глинистих порід витрата вапна знаходиться в межах 5-10 % від маси суміші, для закріплення пилуватих ґрунтів необхідно 8-12 %. Оброблені вапном глинисті ґрунти набирають міцність повільніше, ніж ґрунти, оброблені цементом, через тривалість процесів кристалізації $\text{Ca}(\text{OH})_2$ та карбонізації породи, що необхідно враховувати при проектуванні робіт. Для прискорення процесу набору міцності ґрунтів, оброблених вапном, необхідне застосування спеціальних хімічних

добавок (рідке скло – 2 %, хлористий кальцій – 0,5-1,5 %).

Ще у 1926 році в Ленінградському дорожно-дослідному бюро були проведені дослідні роботи з вапнування ґрунтів [1]. У ході дослідів було встановлено, що добавки гашеного вапна у кількості 5 % від маси ґрунту зменшує липкість і пластичність глинистих ґрунтів та збільшує опір розмоканню. З 1927 по 1931 рік під Москвою були проведені дослідні роботи із зміцнення вапном глинистих і чорноземних ґрунтів. За отриманими даними вчені зробили висновок, що вапнування дерновопідзолистих ґрунтів забезпечило у всіх дослідних ділянках більш високі показники міцності зразків на стиск у водонасиченому стані, ніж при зміцненні цементом.

Вапно може вводиться в ґрунт у вигляді гашеного вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ («пушонка», вапняне тісто) і у вигляді негашеного CaO (мелена «кипілька»). Під час обробки ґрунтів вапном відбуваються такі фізико-хімічні процеси: просочування вихідного ґрунту колоїдально роздробленим гідроксидом кальцію; ущільнення і кристалізація гідроксиду кальцію з утворенням жорстких структурних зв'язків між частками ґрунту; поглинання тонкодисперсною та колоїдною частиною ґрунту іонів кальцію і згортання в міцні агрегати; часткова карбонізація гідроксиду кальцію з утворенням жорстких структурних зв'язків з вуглекислого вапна (кальциту); утворення силікатів кальцію при взаємодії гідроксиду кальцію з рухомими формами силікатної кислоти.

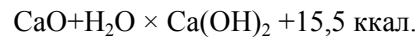
При використанні вапняного тіста треба враховувати, що для твердіння необхідний тривалий час, крім того, вапняне тісто при твердінні може дати усадку. При вапнуванні ґрунтів велику роль відіграє вологість. Оптимальна вологість ґрунтів, за І. В. Єгоровим, визначається як

$$W_0 = W_{\text{опт}} + 1,5 + 0,2 D,$$

де $W_{\text{опт}}$ – оптимальна вологість ґрунту, визначена стандартним методом;

D – кількість вапна.

При введенні в водонасичений ґрунт негашеного меленого вапна відбувається процес гасіння з виділенням тепла:



Гідроксид кальцію виділяється в тонкодисперсному стані, при гасінні 1 кг вапна виділяється 277 ккал, причому об'єм збільшується в 2-3,5 рази. При використанні як добавки хлористого кальцію можуть утворюватися з'єднання типу цементу Сорреля: $n\text{CaO} \times \text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$. Введення солей натрію також збільшує міцність вапнованих ґрунтів. При введенні негашеного вапна у водонасичені глинисті ґрунти за бурозмішувальною технологією вільна вода буде використана на її гасіння, що призведе до підсушування навколишніх ґрунтів, які з часом переходять в більш щільний стан. Закріплення ґрунтів вапнуванням широко застосовується в країнах Скандинавії при влаштуванні доріг. Застосування вапна як в'язучого в наших умовах стримується рядом факторів: його вартість близька до вартості цементу, а закріплення вапном (без добавок) ґрунт набирає міцність значно довше. При проектуванні закріплення ґрунтів вапнуванням необхідно враховувати, що вапняно-глинисті ґрунти як конструкційний матеріал не отримали широкої апробації і для їх промислового застосування необхідно проводити додаткові дослідження.

Вапняні палі застосовують для ущільнення водонасичених глинистих ґрунтів зазвичай текучої консистенції. Для цього в товщі слабких ґрунтів влаштовують свердловини діаметром 32...50 см. Свердловини частіше проходять з обсадними трубами для збереження вертикальності укосів. У ґрунтах, де вертикальність укосів забезпечується навколишнім ґрунтом, проходка свердловин здійснюється без обсадних труб.

Свердловини заповнюють негашеним вапном таким чином, щоб всередині труби товщина шару вапна залишалася не менше 1 м. Далі в трубу опускається трамбовка масою 300...400 кг і проводиться ущільнення вапна. При такому способі відбувається багаторазове ущільнення слабого ґрунту. Спочатку ґрунт ущільнюється при зануренні обсадних труб, а потім – після трамбування вапна. І нарешті, при взаємодії негашеного вапна з водою, яка міститься в порах, відбувається його гасіння, що призводить до збільшення діаметра вапняної палі на 60...80 % і додаткового ущільнення слабого водонасиченого глинистого ґрунту. Оскільки гасіння вапна супроводжується виділенням великої кількості тепла, то під впливом високої температури (300° С) втрачається велика кількість води, яка міститься в порах, і вологість навколишнього ґрунту

зменшується. При цьому міцнісні та деформаційні характеристики водонасичених слабких ґрунтів поліпшуються. Оскільки ступінь вологості навколишнього ґрунту зменшується, то при її значенні, що дорівнює 0,7, можна ущільнювати ґрунти важкими трамбовками. Зазвичай над шаром ущільненого слабого ґрунту відсипають шар з місцевого ґрунту товщиною 1,5...3,0 м і ущільнюють важкими трамбовками. Слід мати на увазі, що для виготовлення вапняних паль необхідно застосовувати вапно з активністю більше 75 %.

Вперше для ущільнення слабких водонасичених глинистих ґрунтів вапняні палі були застосовані в КНР. Ці палі діаметром до 13 см використовувалися при будівництві невеликих споруд на водонасичених лесах. У 1960 р. Б. Ф. Рельтов провів великі натурні дослідження вапняних паль на будівельному майданчику Ризького електролампового заводу, але вперше в СРСР вапняні палі були впроваджені в 1965 р. За проектом вони були влаштовані в основі промислового об'єкта в Барнаулі [3]. В останні роки ці палі стали більш широко використовуватись при будівництві на водонасичених глинистих ґрунтах.

Вапняні палі влаштовують таким чином. У товщі водонасиченого глинистого ґрунту бурять свердловину діаметром 32...50 см. Якщо ґрунту не зберігає вертикальних укосів, то свердловину бурять з обсадними трубами. Пробурені свердловини наповнюють грудковим негашеним вапном. При використанні обсадної труби вапно в свердловині засипають таким чином, щоб в трубі залишалася товщина шару не менше 1 м і ущільнюють трамбовкою вагою 300-400 кг, опускаючи її всередину труби. При цьому способі влаштування основ слабкі водонасичені глинисті і заторфовані ґрунти ущільнюються в кілька етапів.

Перш за все вони ущільнюються зануренням в ґрунт труби із закритим кінцем. Трамбування засипаного в свердловину негашеного вапна (попередньо потовченого до розмірів 2-3 см) викликає деяке розширення палі в діаметрі, що призводить до додаткового ущільнення ґрунту. Негашене грудкове вапно при взаємодії з поровою водою водонасичених глинистих і заторфованих ґрунтів гаситься і в процесі гашення в деяких випадках діаметр вапняної палі збільшується на 60-80 %. Це також призводить до додаткового ущільнення навколишнього водонасиченого ґрунту.

При гасінні вапна виділяється багато тепла. Експерименти показали, що температура в палі досягає 300 °С (Тахіров І. Г., 1971 р.) [3]. Під дією високої температури з водонасичених ґрунтів випаровується велика кількість порової води і, в результаті, вологість зменшується. При зменшенні ступеня вологості до 0,7 можна ущільнювати ґрунти важкими трамбовками. Нарешті, взаємодія негашеного грудкового вапна з ґрунтом призводить до фізико-хімічного закріплення ґрунтів у зонах, суміжних з поверхнею палі, при цьому міцнісні і деформаційні характеристики ґрунтів підвищуються. Як правило, відразу після влаштування вапняних паль ґрунт ущільнюють важкими трамбовками, а над палями відсипають шар місцевого ґрунту товщиною 2-3 м, який також ущільнюється важкими трамбовками.

Необхідно відзначити, що різні заводи випускають вапно з різними властивостями. Для вапняних паль необхідно застосовувати таке вапно, активність якого більша 75 %. Застосування доломітового вапна для вапняних паль недоцільно.

На відміну від піщаних, вапняні палі водонепроникні, тому вони діють як дренаж протягом короткого проміжку часу, поки відбувається гашення вапна. Тому в деяких випадках доцільно влаштовувати вапняні і піщані палі сумісно.

Як уже згадувалося, вапняні палі були успішно застосовані для ущільнення слабких водонасичених лесових ґрунтів в основі споруджуваного цеху сталюого лиття в Барнаулі [3]. Лесові ґрунти, що залягають на глибині близько 30 м, мали текучу, мякопластичну і текучопластичну консистенцію, питома вага 2,65 гс/см³, об'ємна вага 1,51-1,61 гс/см³, природну вологість 23-26 %. Вологість ґрунтів на межі розкочування становила 18-21 %, на межі текучості 25,7-29,5 %. Модуль загальної деформації дорівнював 10,3-15,7 кгс/см², кут внутрішнього тертя 13-14°, а зчеплення 0,12-0,21 кгс/см² (результати випробувань ґрунтів за методикою повільного зсуву на нормально ущільнених зразках).

Спочатку передбачалося ущільнити ґрунти важкими трамбовками. Однак дослідне ущільнення основ цим методом показало, що ґрунт при трамбуванні не ущільнюється, а руйнується, і спостерігається випирання ґрунту з-під трамбовки (ступінь вологості ґрунтів дорівнював 0,91-0,98). Тому протягом двох місяців 1966 р. було влаштовано 587 вапняних паль довжиною 6-7 м за допомогою верстата УГБ-50-А. Влаштування такої кількості свердловин виявилось можливим,

тому що водонасичені лесові ґрунти протягом доби добре зберігали вертикальність стінок свердловин. Максимальна продуктивність верстата становила 18 свердловин за зміну. Свердловини засипали невеликими шарами негашеного грудкового вапна, подрібненого на шматки розміром до 3 см. Після укладання кожного шару його ущільнювали трамбовкою вагою 170 кг.

Цю трамбовку, що представляє собою важку трубу з закритим сферичним нижнім дном, скидали краном з висоти 1-2 м по 5-8 разів.

Вапно привозили на майданчик невеликими порціями (для засипання свердловин протягом доби). Спочатку використовувалося вапно з невисокою активністю (74 %), а згодом з активністю 77 %. Після закінчення влаштування вапняних паль були пробурені свердловини та відібрані зразки ґрунту на різних відстанях від них. Лабораторні дослідження цих зразків показали, що вологість ґрунту зменшилась на 2-9 %, а міцність збільшилась [3]. Так, зразки, відібрані між вапняними палями та випробувані на зріз за такою ж методикою, як і до досліду, мали кут внутрішнього тертя $17-20^\circ$, а зчеплення $0,3-0,37$ кгс/см² (замість $13-14^\circ$ і $0,12-0,21$ кгс/см²). Модуль загальної деформації ґрунту, відбраного на відстані 15 см від бічної поверхні вапняної палі, виявився рівним 65 кгс/см², а ґрунту з ділянок між вапняними палями – $29-38$ кгс/см².

Зменшення ступеня вологості ґрунту до $0,75-0,8$ дозволило застосувати для ущільнення ґрунтів важкі трамбовки. В результаті трамбування поверхня ґрунту знизилася на $35-42$ см (відмова при трамбуванні становила $2,2-2,8$ см). Поверхню ущільненого шару була влаштована ґрунтова подушка з місцевого суглинка з вологістю на межі розкочування. Ґрунтову подушку відсипали пошарово (по 20 см) і ущільнювали котками.

Після закінчення будівництва цеху тиск під фундаментом досягнув $2,5$ кгс/см². При цьому осідання цеху на 1970 р. становило всього 12 см.

У зв'язку з тим, що на деяких експериментальних ділянках вапняні палі виявилися неефективними (досліди Б. Ф. Рельтова і В. С. Сафрончик в Ризі), автор разом з І. Г. Тахіровим [3] провів експериментальне вивчення процесів, що виникають навколо вапнякових паль при їх влаштуванні у водонасичених лесових ґрунтах. Дослідний майданчик в районі с. Бустон (Тадж. РСР) на глибину до 12 м був розташований на водонасичених лесових суглинках, що мають приблизно однакові характеристики стисливості по глибині шару. Фізико-механічні властивості лесових суглинків на глибині 4-5 м характеризувались такими показниками:

Об'ємна вага γ	1,7-1,81 гс/см ²
Вологість W	24,7-27,9 %
Межа пластичності:	
- на межі текучості W_t	26-31 %
- на межі розкочування W_p	18-21 %
Коефіцієнт пористості ϵ	0,797-0,938
Ступінь вологості G	0,9-0,95
Модуль загальної деформації E_0	17 кгс/см ²
Кут внутрішнього тертя ϕ	$9-10^\circ 30'$
Зчеплення c	$0,07-0,12$ кгс/см ²

На майданчику були влаштовані два куці вапняних паль (8 паль в куці при відстанях між центрами паль 2 м) і кілька поодиноких вапняних паль. Палі на глибину 3-5,5 м влаштовували за допомогою металевих обсадних труб (внутрішнім діаметром 265 мм) із залишенням в ґрунті залізобетонних башмаків. Активність негашеного вапна, яким заповнювали трубу перед її витяганням, становила близько 80 % (вміст $MgO+CaO$), а потім її ущільнювали в свердловині трамбовкою вагою 80 кг.

Щоб виявити термічний вплив вапняної палі на навколишні водонасичені ґрунти, навколо неї, а також у тілі палі встановлювали температурні датчики. Точність вимірювання температури становила $1^\circ C$.

Процеси ущільнення водонасичених лесових ґрунтів у процесі забивання металевої труби і гасіння вапна досліджувалися за допомогою датчиків, що вимірюють тиск у поровій воді (конструкції МИСИ). Точність вимірювання порового тиску становила $10-20$ гс/см².

Для визначення деформативних характеристик водонасичених лесів після зміцнення їх вапняними палями через 36 днів ґрунти були знов випробувані штампом площею 10 тис. см².

Після влаштування палі на різній відстані від її бічної поверхні були відібрані зразки. Дослідження їх показали, що міцність і стисливість ґрунту істотно змінюються в залежності від

відстані до бічної поверхні вапняної палі. Так, зразки, відібрані на відстані 0,35 м, характеризувались кутом внутрішнього тертя $16-22^\circ$ і зчепленням $0,35-0,43$ кгс/см². На відстані 0,7 м кут внутрішнього тертя зразків ґрунту дорівнював $14-17^\circ$, а зчеплення $0,18-0,25$ кгс/см².

Експериментальне дослідження підсилення лесових основ вертикальним армуванням за допомогою вапняних паль

В рамках даної роботи було проведено експеримент на дослідження зміни властивостей просадочного ґрунту (лесоподібний суглинок) шляхом влаштування в ньому вапняної палі.

Основною задачею було дослідити, чи зміняться фізико-механічні властивості просадочного ґрунту в сухих природних умовах при введенні в його товщу вапняної палі.

Для експерименту було влаштовано свердловину глибиною 1 м і діаметром 70 см.

Глибина влаштування свердловини була вибрана з урахуванням товщини рослинного шару, який в місці проведення експерименту становив 10-15 см.

Послідовність проведення експерименту

1. Підготовка площадки для проведення експерименту.
2. Влаштування свердловини в ґруті.
3. Засипання у свердловину негашеного вапна.
Негашене вапно попередньо подрібнили на грудки розміром 1-3 см. Після цього свердловину повністю заповнили вже підготовленим вапном.
4. Гасіння вапна у свердловині водою.
У вже заповнену негашеним вапном свердловину поступово заливали звичайну воду. Через пори між комками вапна вода поступала до самого дна свердловини. Для того, щоб гасіння відбулось повністю, необхідна кількість води повинна була становити 70-100 % від об'єму вапна. Після повного гасіння вапна у свердловині її було накрито для захисту від дощу.
5. Відкопування готової вапняної палі і відбір зразків для дослідження.

Через 3 дні після проведення експерименту, палю було відкопано на всю глибину. Відкопували поступово, беручи зразки ґрунту на різних рівнях глибини для лабораторних досліджень.

Висновки

- В результаті влаштування вапняної палі ґрунт навколо неї деякою мірою ущільнився, про що свідчило розширення палі в середній частині.
- Затрати на проведення експерименту були несуттєвими, що свідчить про досягнення деякого економічного ефекту при майбутньому використанні даного методу.

Список літератури

1. Безрук В. М. Теоретические основы укрепления грунтов химическими элементами / В. М. Безрук. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 186 с.
2. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов / Л. В. Гончарова. – М.: Стройиздат, 1973. – 224 с.
3. Абелев М. Ю. Опыт применения известковых свай в водонасыщенных лёссовых грунтах / М. Ю. Абелев. – В сб. Материалы VI совещания по закреплению и уплотнению грунтов, МГУ, 1968. – С. 64-82.
4. Литвинов И. М. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве / И. М. Литвинов. – В сб. Материалы VIII Всесоюзного совещания. – Будівельник, 1968. – С. 229-249.
5. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах / Ю. М. Абелев. – М.: МГУ, 1968. – 452 с.
6. Патент UA № 8054.А кл. E 02 D3/12 на винахід „Спосіб закріплення ґрунту". Постанова Верховної Ради України № 3769-ХІІ від 23.12.1993 року. Державне патентне відомство України. Київ, 1993. – 9 с.

Маєвська Ірина Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Батрак Олександр Миколайович – студент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.