

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.131.23/.138.22:624.131.381

П. А. ДОНЧЕНКО¹, В. М. КОНОВАЛ², І. О. ПОНОМАРЕНКО^{3*}

¹ Кафедра «Промислове та цивільне виробництво», Черкаський Державний технологічний університет, вул. Шевченка, 460, Черкаси, Україна, 18006, тел. +38 (047) 273 02 79, ел. пошта vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-8408-1092

² Кафедра «Промислове та цивільне виробництво», Черкаський Державний технологічний університет, вул. Шевченка, 460, Черкаси, Україна, 18006, тел. +38 (096) 364 91 93, ел. пошта vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-6740-6617

^{3*} Кафедра «Промислове та цивільне виробництво», Черкаський Державний технологічний університет, вул. Шевченка, 460, Черкаси, Україна, 18006, тел. +38 (047) 273 02 79, ел. пошта vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4296-3975

ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ МЕХАНІЗОВАНИХ СПОСОБІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ЛЕСОВИХ ГРУНТОВИХ ОСНОВ

Мета. На даному етапі розвитку будівельних технологій необхідно виконувати пошук, вибір і модернізацію варіантів технічних і технологічних рішень використання серійних установок, і обладнання для закріплення, і стабілізації лесових ґрунтів основ будівель, і споруд механізованими способами в умовах України.

Методика. Для вирішення проблеми укріплення лесових ґрунтів шляхом укочування та визначення параметрів ущільнення проведено натурні дослідження шляхом побудови графіка залежності сухого ґрунту від вологості при стандартній роботі ущільнення. З метою перевірки рівномірності ущільнення ґрунтів по глибині проведено контрольне динамічне зондування ущільнених ділянок за допомогою пенетрометрії.

Результати. Детальні геотехнічні обстеження будівельної ділянки з використанням віброкотка VibroMax VM-115D дозволили визначити, що якість і стан ґрунтів, а також ступінь їх ущільнення відповідає нормативним показникам. При цьому кількість проходжень віброкотка по кожній ґрунтовій смужці повинна бути не менше 10 разів для досягнення вологості ущільненого ґрунту менше оптимальної величини.

Наукова новизна. За результатами розрахунків та динамічного зондування в місцях відбору проб ґрунту встановлено, що ущільнення при наявній вологості меншій за оптимальну можна проводити і при меншій її величині і це дає можливість отримати позитивні показники по ущільненню слабких водонасичених ґрунтів.

Практична значимість. Запропоновані підходи по визначенню міцнісних та деформаційних характеристик, а також ступенів їх ущільнення, відповідаючи проектним та нормативним документам.

Ключові слова: закріплення лесових ґрунтів; метод віброукочування; проходження віброкотка; щільність ґрунту; оптимальна вологість; динамічне зондування

Вступ

Напрямок представленої науково дослідної роботи є актуальним в умовах Черкаського регіону і в цілому для України по тій причині, що проблема лесових ґрунтів і їх закріплення виникла декілька десятиліть назад. Багато вчених зробили великий внесок у вивчення даної проблеми, але разом із тим питання закріплення взагалі лесових ґрунтів є на сьогодні ще далеко не вивченими.

В Україні лесові ґрунти займають 20-35 відсотків її території. Досвід будівництва та експлуатації будівель і споруд на лесових просадочних ґрунтах показує, що основною причи-

ною деформації фундаментів, стін, перегородок і несучих конструкцій є нерівномірність просадок ґрунтових основ, які виникають в результаті їх замочування. Причиною замочування є сильні зливи, непланова вирубка лісів, підвищення рівня ґрунтових вод, перевищений термін експлуатації зовнішніх і внутрішньомайданчикових мереж водопостачання, водовідведення, теплові мережі. Великий вплив мають і помилки при проведенні інженерно-геологічних вишукувань, а також невиконання технічних умов при веденні будівельно-монтажних робіт, особливо в зимовий період.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Сьогодні в нашій країні різні спеціалізовані підприємства в основному займаються поставкою імпортованих машин і обладнання по закріпленню і стабілізації різних ґрунтів для підвищення несучої спроможності основ будівель і споруд. На даний час є багато машин з різними показниками для різних варіантів закріплення ґрунтів при їх реконструкції і будівництві.

В наступних 2017-2018 роках планується підйом розвитку основних напрямків народного господарства. В цьому плані одним із перспективних й економічних напрямків є використання вітчизняної техніки і обладнання, які б відповідали технологіям закріплення ґрунтів механізованими способами для підсилення основ будівель і споруд й забезпечили б зниження трудовитрат і економію матеріальних ресурсів.

Мета

Приклади аварійних станів основ фундаментів, будівель і споруд в Україні свідчать про те, що властивості лесових просадочних ґрунтів і особливо їх поведінка під навантаженням і при замочуванні недостатньо вивчені. Тому досконале вивчення особливостей структури лесових порід є ключем до вирішення самої проблеми закріплення ґрунтів. Рішення цієї проблеми і є метою даного дослідження, що дає можливість досягти відповідного прогресу в розробці ефективних методів закріплення лесових ґрунтів. Це дасть змогу підвищити надійність будівництва і виключити можливість руйнування зведених на цих ґрунтах інженерних будівель і споруд.

Методика

Огляд і аналіз механізованих способів закріплення лесових ґрунтів, пізнання глибини і природи їх просадочності дає можливість розробляти інженерні методи і технологічні способи виконання робіт по їх закріпленню.

В теперішній час ці методи в основному зводяться до фізико-технічної дії на нестійку специфічну структуру лесових ґрунтів в трансформації їх в стійкий недеформований стан. При цьому виходячи із суті механізму просадки, спеціалісти прагнуть підвищити щільність лесового ґрунту і збільшити міцність контактів між мінеральними частинками.

Найбільш розповсюдженими способами закріплення просадочних ґрунтів є наступні [1-3]:

- поверхнєве ущільнення важкими трамбівками;
- влаштування ґрунтових подушок;
- глибинне ущільнення попереднім замочуванням;
- глибинне ущільнення ґрунтовими палями;
- витрамбовування котлованів;
- ущільнення підводними вибухами;
- термічна обробка ґрунту;
- струменеві цементация;
- способи хімічного закріплення (цементация, силікатизация, смолизация, бітумизация, глинизация).

Перші чотири способи включені в діючі ДБН [2] та інші нормативні документи і широко застосовуються в практиці будівництва.

Всі способи виконуються за допомогою спеціальних технологій, машин і обладнання. Для визначення ґрунтових умов і конструкцій зданій та споруд на просадочних ґрунтах достатньо широко використовується прорізка просадочних ґрунтів палями й опорами з метою забезпечення мінімальних осадок.

Недоліком деяких способів є вплив динамічних дій на близько розміщені споруди.

Ущільнення лесового ґрунту енергією вибуху [4-7] ефективно при освоєнні нових територій. Вибухами ущільнюються великі об'єми ґрунту з використанням пробурених свердловин, в які розміщують вибухові речовини. Конструкції зарядів можуть бути різними. При цьому заряди потрібно розміщувати над лесовими ґрунтами у водонасичені або обводнені ґрунти.

Одним із способів закріплення лесових ґрунтів є термічне закріплення [8]. Дослідженнями встановлено, що при температурі вище +400 °С лес втрачає свої просадочні властивості і перетворюється в суглинок. Технологічна послідовність операцій наступна: в свердловині розміщують форсунку, через яку насосом подають паливо із повітрям. В стволі свердловини запалюють факел, який протягом певного часу створює в лесовому ґрунті обпалення. При горінні факела температура в свердловині складає від +400 °С до +600 °С.

При такій температурі через деякий час створюється міцний ($R \geq 1$ МПа) обпалений масив діаметром до 3 м з граничною температурою +400 °С. Під дією високої температури спостерігається обпалювання і спікання міне-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ралів, а на контактах між окремими частинками формуються міцні фазові контакти кристалізаційного типу, стійкі по відношенню до дії води. В результаті підвищується міцність лесового ґрунту і він стає непросадочним.

Одним із прогресивних методів закріплення лесових ґрунтів є метод розрядно-імпульсної технології [9, 10], суть якого полягає в наступному: свердловину, яку заповнили мілко зернистим бетоном або цементним розчином, обробляють серією високовольтних електричних розрядів. При цьому виникає електрогідралічний ефект, в результаті якого формується тіло палі або кореня анкера, цементується та ущільнюється навколишній ґрунт. Початковий діаметр свердловини у 130...300 мм в результаті дії серії розрядів може бути збільшений, в залежності від енергії, яка подається в свердловину, і гідрогеологічних умов території більше ніж в 2 рази фундаменту. В результаті навколишні ґрунти утрамбовуються, знижується їх пористість в зоні дії ударного імпульсу. Динамічні дії, що виникають в процесі формування поза зоною обробки, незначні і не впливають на конструкції. Ліквідувати просадочність лесового ґрунту можливо при використанні ґрунтових подушок із непросадочного ґрунту [11-13]. В цьому випадку котлован під споруду, що проектується, виконують в лесовій основі нижче на 2 м відмітки закладання підшви фундаменту. Викопаний ґрунт пошарово (по 0,3...0,5 м) укладається в котлован з трамбуванням кожного шару катками або віброкотками типу Vibromax VM 115D з робочою частотою від 31 до 36 Гц і відцентровою силою від 163 до 261 кН. Причому щільність сухого ґрунту досягає $16,8 \text{ кН/м}^3$, а вологого – від 17,3 до $20,0 \text{ кН/м}^3$ [14, 15].

Технологія струменевої цементації закріплення ґрунтів була розроблена в тому числі і в Україні в два останні десятиріччя [10]. Ця технологія виконується високонапірним струменем цементного розчину, який виходить під високим тиском із монітора, розміщеного на нижньому кінці бурової колони і обертаючого навколо своєї вісі. В результаті в ґрунтовому масиві формуються палі діаметром 0,6...1,0 м з ґрунтобетону із високими протифільтраційними характеристиками і достатніми міцнісними властивостями. При цьому цементація основ досягає високого рівня технологічності та економічності ефективності, оскільки здійснюється

високошвидкісне закріплення основ ґрунтоцементними палями.

Ущільнення ґрунту на глибині до 25 м і більше проводять набивними палями [3]. Технологія їх виготовлення полягає в наступному: в ґрунт забивають металеві палі (труби із закритим кінцем), виконується часткове ущільнення ґрунту і зниження просадочності леса, який розмішений по довжині труби. Після виконання робіт труби виймають, а в отримані свердловини трамбується ґрунт з невеликою кількістю води. Довжина труби вибирається, виходячи з проходження лесової посадочної товщини. В результаті одержуємо палю, яка своїм кінцем опирається на непросадочний ґрунт.

Просадку багатьох типів лесових ґрунтів можливо зменшити за допомогою методу силікатизації [10]. Сутність цього методу полягає в наступному: в ґрунт через перфоровану трубу подають розчин силікату натрію разом з розчином хлористого кальцію, або спочатку розчин силікату натрію, а потім – розчин хлористого кальцію.

При з'єднанні обох розчинів в порах просадочного ґрунту створюється водонерозчинний гель кремнієвої кислоти, який цементує ґрунт і робить його непросадочним.

Закріплення ґрунтів можна здійснювати смолами [9]. Суть методу полягає у введенні в ґрунт високомолекулярних органічних сполук типу карбамідних, фенолформальдегідних та інших синтетичних смол в суміші з твердниками – кислотами, кислотними солями.

Через певний час в результаті взаємодії з твердниками смола полімеризується. Час гелеутворення складає 1,5...2,5 години, повне зміцнення відбувається після двох діб. Смолізація ефективна в сухих і водо насичених пісках с коефіцієнтом фільтрації $K_{\phi} = 0,5...25 \text{ м/добу}$. Міцність закріпленого ґрунту, що досягається, коливається в межах 1...5 МПа і залежить в основному від концентрації смоли в розчині. Організація робіт аналогічна силікатизації, але треба нагрівати смолянисту речовину. Радіус закріпленої зони складає 0,3...1,0 м і залежить від коефіцієнта фільтрації K_{ϕ} . Метод відноситься до дорогих і неекономічних.

Всі перераховані методи мають достатньо обмежений рівень застосування, оскільки потребують спеціального обладнання, великих матеріальних витрат та енергії. Крім того, техно-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

логії закріплення ґрунтів є достатньо складними.

Тому велике значення мають дослідження, особливо в просадочних ґрунтах, по їх укріпленню з використанням не тільки зволоження, а і механізмів для поверхневого ущільнення ґрунту укочуванням і вібрацією [13-16].

Результати

Як відомо, при великих об'ємах відсіпаємих земляних споруд ґрунт ущільнюють способом шарового укочування. При цьому шари ґрунту товщиною 15...20 см укочують легкими котками (вагою 3...5 т), а товщиною 30...40 см – тяжкими (вагою 10...12 т) [16].

Для зменшення об'ємів робіт і підвищення ефективності укочування ґрунт ущільнюють при оптимальній вологості. Суть методу полягає в наступному. Будівельними нормами регламентується нормативна щільність сухого ґрунту споруди ρ_d^H [2].

Потім при різній вологості ґрунту, з якого відсіпається споруда, проводиться стандартне ущільнення і будується графік залежності щільності сухого ґрунту від вологості при даній (стандартній) роботі ущільнення. Оптимальна вологість відповідає максимальній щільності сухого ґрунту при даній фіксованій роботі ущільнення.

В сучасних умовах найбільше розповсюдження отримали однобарабанні кулачкові самохідні вібраційні котки типу Vibromax VM 132, НАММ 3516, АТЛАС 1140. Вони мають масу від 14000 до 15750 кг, навантаження на передній міст 8000...9300 кг, на задні колеса – 6000...6450 кг.

З метою визначення характеру ущільнення ґрунтової подушки віброкотком Vibromax VM 115D в умовах Черкаського будівельного об'єкту було виконано дослідне ущільнення ґрунту на відмітці $\downarrow 8,200$, а потім шару зворотної засипки по смузі з розмірами 7,0×25,0 м до рівні $\downarrow 7,900$.

З даної дослідної ділянки було вибрано проби для визначення щільності скелету ґрунту після його ущільнення з оптимальною вологістю.

Кількість проходок котка по ділянці досліджуваної ґрунтової подушки становить 12 разів. Після ущільнення ґрунту в зонах було віді-

брано по 2 проби на рівні $\downarrow 7,900$ та дві проби на рівні $\downarrow 8,200$ на щільність та вологість з однієї зони в середині ущільнювального шару. Методом ріжучого кільця визначено щільність вологого ґрунту після ущільнення ґрунтової подушки.

На основі аналізу відібраних проб на вологість ґрунту було встановлено, що на дослідній ділянці з відміткою $\downarrow 8,200$ вологість ущільненого ґрунту становить $W = 0,146$, а на ділянці з відміткою $\downarrow 7,900$ – 0,127.

Результати дослідження показують, що щільність скелету ґрунту ρ_d на відмітці $\downarrow 7,900$ становить 1,86...1,87 г/см³, а на відмітці $\downarrow 8,200$ – 1,75...1,76 г/см³, що задовольняє проектному значенню ущільнення ґрунту зворотної засипки котловану $\rho_d = 1,70$ г/см³ при 12 проходах віброкотка [17-19].

З метою перевірки рівномірності ущільнення ґрунтів по глибині було проведено контрольне динамічне зондування ущільненої ділянки за допомогою пенетрометра ДПТ-4 [20]. Результати зондування свідчать про рівномірне ущільнення ґрунтів по глибині, а кількість ударів на кожні 10 см занурення зонда складає не менше ніж 10 ударів, що експериментальним шляхом підтверджує проектне значення щільності скелету ґрунту $\rho_d = 1,70$ г/см³.

Таким чином, за результатами контрольного геотехнічного обстеження даної дослідної ділянки можна зробити наступний висновок: якість і стан ґрунтів, а також ступінь їх ущільнення відповідає вимогам затвердженого проекту і нормативних документів. При цьому кількість проходжень віброкотка повинна бути не менше 10 разів для досягнення оптимальної вологості ущільненого ґрунту $W = 0,150$.

З відмітки $\downarrow 8,200$ з цілого ґрунту було відібрано проби для визначення фізико-механічних властивостей ґрунту в природному стані.

Аналіз результатів дослідження показав, що щільність скелету ρ_d ґрунту на відмітці $\downarrow 8,200$ в природному стані становить 1,61...1,62 г/см³, а природна вологість ґрунту становить $W = 0,084$.

Кількість води необхідна для зволоження 1 м³ ґрунту до оптимальної вологості становить:

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$Q = \frac{P}{1+W}(W_{\text{опт}} - W) = \\ = \frac{356,85}{1+0,084}(0,15 - 0,084) = 21,73 \text{ т,}$$

де P – маса ущільненого шару ґрунту в котловані.

$$P = S_{\text{кот}} h_{\text{шару}} \rho_{\text{ґрунту}} = 610 \cdot 0,30 \cdot 1,95 = 356,85 \text{ т.}$$

Враховуючи площу котловану, кількість води на 1 м^2 ущільненого шару товщиною $0,3 \text{ м}$ становить 36 л/м^2 .

Були проведені також геотехнічні дослідження ущільнення ґрунтової подушки на відмітці $\downarrow 7,900$, що відсипалась з ґрунту природної вологості, складеного у відвал поблизу будівельного майданчику з подальшим зволоженням та ущільненням. Проби були відібрані з шурфів, виконаних після ущільнення засипки на відмітці $\downarrow 7,300$.

Як слідує з аналізу результатів визначення фізико-механічних властивостей ґрунту першого шару ущільнення, щільність скелету ґрунту коливається в допустимих межах і в середньому складає $1,87 \text{ г/см}^3$. Середнє значення вологості ґрунтів в пробах складає $W = 0,120$. За результатами розрахунків та динамічного зондування в місцях відбору проб ґрунту можна стверджувати, що ущільнення при наявній вологості, меншій за оптимальну, яка становить $0,15$, можна проводити і при меншій вологості.

В результаті геотехнічного моніторингу виконання ущільнення ґрунтової подушки котловану на відмітці $\downarrow 7,600$ встановлено, що щільність скелету ґрунту коливається в допустимих межах і в середньому складає $1,89 \dots 1,91 \text{ г/см}^3$. Середнє значення вологості ґрунтів в пробах складає $W = 0,1243$. За результатами розрахунків та динамічного зондування в місцях відбору проб ґрунту можна стверджувати, що ущільнення при наявній вологості, меншій за оптимальну, яка становить $0,15$, також можна проводити і при меншій вологості.

В результаті геотехнічних досліджень ущільнення ґрунтової подушки котловану на відмітці $\downarrow 7,300$ встановлено, що щільність скелету ґрунту коливається також в допустимих межах і в середньому складає $1,75 \dots 1,90 \text{ г/см}^3$. Середнє значення вологості ґрунтів в пробах складає $W = 0,106$. Таким чином, можна стверджувати,

що ущільнення при наявній вологості, меншій за оптимальну, можна проводити і при меншій вологості.

Всі подальші дослідження ущільнення ґрунтової подушки на відмітках $\downarrow 7,000$; $\downarrow 6,700$; $\downarrow 6,400$; $\downarrow 6,100$; $\downarrow 5,800$; $\downarrow 5,500$; $\downarrow 5,350$ дозволили зробити висновки, що отримані при попередніх експериментах, значення щільності відповідають проектним величинам.

Геотехнічні дослідження ущільнення вирівнюючого шару гранульованого шлаку на відмітку $\downarrow 5,200$, показали, що щільність скелету шлакового шару знаходиться в межах, передбачених проектом.

Додатково в процесі досліджень було проведено компресійні випробування ґрунту для визначення його деформаційних характеристик.

Випробування наданих параметрів характеристик проводились для ущільненого шару потужністю $0,9 \text{ м}$ (по дві проби з кожного – всього 6 проб ґрунту на відмітках $\downarrow 5,500$; $\downarrow 5,800$; $\downarrow 6,100$).

Значення модуля деформації ґрунту заданого стану на інтервалі тиску від $0,1$ до $0,2 \text{ МПа}$ становить $10,12 \text{ МПа}$, на інтервалі від $0,2$ до $0,3 \text{ МПа}$ – $22,25 \text{ МПа}$.

Модуль деформації для шару ґрунтової подушки, що знаходиться нижче, можна вважати таким же, оскільки перевірка рівномірності ущільнення ґрунтової подушки при проведенні контрольного динамічного зондування масиву за допомогою пенетрометра ДПТ-2 показало, що подушка ущільнена рівномірно, а кількість ударів на кожні 10 см занурення зонда складає не менш ніж 25 ударів та збільшується з глибиною занурення, що відповідає отриманому в лабораторії модулю деформації ґрунту.

Крім того, було виконано визначення питомого зчеплення та кута внутрішнього тертя ґрунту при його випробуванні на міцність при зрізі згідно ДСТУ Б.В. 2.1-4-96, котрі при вологості $W = 0,13$ складають:

- питоме зчеплення ґрунту $c = 0,53 \dots 0,61 \text{ МПа}$;
- кут внутрішнього тертя $\phi = 51 \dots 61$ град.

Висновки

Таким чином, детальні геотехнічні обстеження даної будівельної ділянки з використанням віброкатка Vibromax VM -115 D, дозволи-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ли зробити висновок, що якість і стан ґрунтів, а також ступінь їх ущільнення відповідає вимогам затвердженого проекту і нормативних документів. При цьому кількість проходжень віброкатка по кожній ґрунтовій смужці повинна бути не менше 10 разів для досягнення вологості ущільненого ґрунту менше $W = 0,150$, що є оптимальним показником для даного типу ґрунту. За результатами розрахунків та динамічного зондування в місцях відбору проб ґрунту встановлено, що ущільнення при наявній вологості, меншій за оптимальну, яка становить 0,15, можна проводити і при меншій її величині і це дає можливість отримати позитивні показники по ущільненню слабких водонасичених ґрунтів. Крім того, за результатами контрольного геотехнічного дослідження даної ущільненої подушки можна зробити наступні узагальнення: якість і стан ґрунтів, міцність та деформативні характеристики, а також ступінь їх ущільнення відповідає вимогам, затвердженим в проекті і нормативних документах на ґрунтові споруди даного типу [2]. Стан ущільненого масиву ґрунтової подушки забезпечує її необхідну стійкість і надійність на час експлуатації споруди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Уплотнение просадочных грунтов [Текст] / Под общ. ред. В. И. Крутова. – Москва : Стройиздат, 1974. – 207 с.
2. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Зі змінами №1 і №2 [Текст]. – Надано чинності 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с.
3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / Под ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – Москва : АСВ, 2014. – 728 с.
4. Ефремов, Э. И. Справочник по взрывным работам [Текст] / Э. И. Ефремов, А. А. Вовк. – Київ : Наукова думка, 1983. – 328 с.
5. Вовк, А. А. Применение энергии взрыва для ликвидации просадочных свойств лессовых грунтов [Текст] / А. А. Вовк, В. Г. Кравец, Л. И. Демешук. – В книге : Использование энергии взрыва в народном хозяйстве. – Київ : Наукова думка, 1970. Ч. 3, – С. 142-145.
6. Литвинов, И. М. Глубинное укрепление и уплотнение просадочных грунтов [Текст] / И. М. Литвинов. – Київ : Будівельник, 1969. – 184 с.
7. Методические рекомендации по уплотнению просадочных грунтов гидровзрывным способом. [Текст] – Киев : НИИСК, 1980. – 76 с.
8. Зоценко, М. І. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник [Текст] / М. І. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев та інші. – Полтава : ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
9. Конохов, Д. С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы : учебное пособие для вузов [Текст] / Д. С. Конохов. – Москва : Архитектура-С, 2005. – 304 с.
10. Харитонов, В. А. Подземные здания и сооружения промышленного и гражданского назначения [Текст] / В. А. Харитонов. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2008. – 256 с.
11. Яковлев, А. В. Особливості проектування, будівництва, експлуатації будівель і споруд на лесовому ґрунті та зсувонебезпечній території України [Текст] / А. В. Яковлев, Ю. Л. Винников. – Київ : НМК ВО, 1992. – 252 с.
12. Винников, Ю. Л. Експериментальні дослідження анізотропії лесового суглинку в межах ґрунтової подушки [Текст] / Ю. Л. Винников // – 36. наук. праць ПНТУ. – 2002. – Вип. 10. – С. 44-49.
13. Лопан, Р. М. Взаємозв'язок фізико-механічних характеристик ґрунтів піщаних подушок з параметрами їх укочування [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.02 / Лопан Р. М.; ОДАБА. – Одеса, 2012. – 24 с.
14. Винников, Ю. Л. Математичне моделювання укочування розкритих порід [Текст] / Ю. Л. Винников, Р. М. Лопан // – 36. наук. праць ПДАБА. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2011. – С. 83-88.
15. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений [Текст] – Москва : НИИОПС им. Н. М. Гераранова, 1978. – 375 с.
16. Суворов, Д. Г. Об ударном взаимодействии рабочего органа трамбующих машин с грунтом [Текст] / Д. Г. Суворов / Известия вузов. Строительство, – 2000. – №7-8. – С. 102-107.
17. Харченко, М. О. Оцінка неоднорідності ущільнених ґрунтів штучних основ [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.02. / Харченко М. О; ПолтНТУ. – Полтава, 2010. – 23 с.
18. Heibrock G. On predicting of vibrocompaction performance using numerical models / G. Heibrock, S. Kebler, T. Triantarullidis // Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Madrid, 2007. – pp. 1323-1327.
19. Pak A. Behavior of dry and saturated soils under impact load during dynamic compaction / A. Pak, H. Shanir, A. Ghassemi // Proc. of 16th Intern

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka, 2005. – pp. 1245-1248.
20. Zotsenko M. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration method / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, A. Yakovlev // Proc. of XIVth Danube – European Conf. on Geotechnical Eng. – Bratislava: Slovak University of Technology, 2010. – pp. 245-253.

П. А. ДОНЧЕНКО¹, В. М. КОНОВАЛ², И. А. ПОНОМАРЕНКО^{3*}

¹ Кафедра «Промышленное и гражданское производство», Черкасский государственный технологический университет, ул. Шевченко, 460, Черкассы, Украина, 18006, тел. +38 (047) 273 02 79, эл. почта vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-8408-1092

² Кафедра «Промышленное и гражданское производство», Черкасский государственный технологический университет, ул. Шевченко, 460, Черкассы, Украина, 18006, тел. +38 (096) 364 91 93, эл. почта vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-6740-6617

^{3*} Кафедра «Промышленное и гражданское производство», Черкасский государственный технологический университет, ул. Шевченко, 460, Черкассы, Украина, 18006, тел. +38 (047) 273 02 79, эл. почта vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4296-3975

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Цель. На данном этапе развития строительных технологий необходимо выполнять поиск, выбор и модернизацию вариантов технических и технологических решений использования серийных установок и оборудования для закрепления и стабилизации лессовых грунтов оснований зданий и сооружений механизированными способами в условиях Украины. **Методика.** Для решения проблемы укрепления лессовых грунтов путем укатки и определения параметров укрепления проведены натурные исследования путем построения графика зависимости сухого грунта от влажности при стандартной работе уплотнения. С целью проверки равномерности уплотнения грунтов по глубине проведено контрольное динамическое зондирование уплотненных участков с помощью пенетрометрии. **Результаты.** Детальные геотехнические обследования строительного участка с использованием виброкатка VibroMax VM-115D, позволили определить, что качество и состояние грунтов, а также степень их уплотнения соответствует нормативным показателям. При этом количество проходок виброкатка по каждой грунтовой полосе должна быть не меньше 10 раз для достижения влажности уплотненного грунта меньше оптимальной величины. **Научная новизна.** Расчеты и динамическое зондирование в местах отбора проб грунта установлено, что уплотнение при данной влажности, меньшей оптимальной, можно проводить и при меньшей ее величине и это дает возможность получить положительные показатели по уплотнению слабых водонасыщенных грунтов. **Практическая значимость.** Предложенные подходы по определению прочности и деформационных характеристик, а также степеней их уплотнения, отвечают проектным и нормативным документам.

Ключевые слова: закрепление лессовых грунтов; метод виброукатывания; прохождение виброкатка; плотность грунта; оптимальная влажность; динамическое зондирование

P. A. DONCHENKO¹, V. M. KONOVAL², I. O. PONOMARENKO^{3*}

¹ Department of Industry and Civil Construction, Cherkassy state Technological University, 460 Shevchenko Str., Cherkassy, Ukraine, 18006, tel. +38 (047) 273 02 79, e-mail vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-8408-1092

² Department of Industry and Civil Construction, Cherkassy state Technological University, 460 Shevchenko Str., Cherkassy, Ukraine, 18006, tel. +38 (096) 364 91 93, e-mail vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-6740-6617

^{3*} Department of Industry and Civil Construction, Cherkassy state Technological University, 460 Shevchenko Str., Cherkassy, Ukraine, 18006, tel. +38 (047) 273 02 79, e-mail vponomarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4296-3975

RESEARCH AND CHOOSE THE BEST OPTIONS OF MECHANIZED METHODS OF LOESS SOILS BASES FIXING

Purpose. At this stage of construction development necessary to perform the search and selection of options for upgrading of technical and technological solutions for using serial installations and equipment for the strengthening

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

and stabilization of loess soils buildings and structures by mechanized means in terms of Ukraine. **Methodology.** To solve the problem of strengthening loess soils by rolling and determination of their compaction were conducted field researches by construction of dry soil plot from humidity at the standard operation with the object of check the uniformity of soil compaction on the depth the control dynamic sounding of areas using compacted penetrometers. **Findings.** Detail geotechnical survey of the construction site using vibroroller VIBROMAX VM-115D allow to determine that the quality and condition of the soils and the degree of their compaction meet to specification indexes. The number of vibroroller passes for each soil stripe must be at least tenth times to achieve of the compacted soil humidity less that optimal value. **Originality.** The calculations and dynamic sounding in the site of soil sampling taking found that seal in the presence of humidity is less than optimal and can be conducted at a lower value and it is an opportunity to get good results in compaction weak saturated soils. **Practical value.** The approaches to determine the strength and deformation characteristics, and the degree of compaction, which respond to project and specification documents.

Keywords: consolidation of loess soils; vibrorolling method; passing of vibroroll; soil density; optimum humidity; dynamic sounding

REFERENCES

1. *Uplotnenie prosadochnykh gruntov* [Seal of subsidence soils]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 207 p.
2. *DBN V.2.1-10-2009. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennya proektuvannya. Zi zminamy №1 i №2.* [State Standard V.2.1-10-2009 Bases and foundations of buildings. The main provisions of the design. With the changes №1 and №2]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2009. 107 p.
3. *Spravochnik geotehnika. Osnovanija, fundamenti i podzemnye sooruzhenija* [Handbook of geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Moscow, ASV Publ., 2014. 728 p.
4. Efremov Э. Y. *Spravochnik po vzryvnym rabotam* [Explosive works guide]. Kiev, Scientific Thought Publ., 1983. 328 p.
5. Vovk A. A. *Primenenie energii vzryva dlja likvidacii prosadochnykh svojstv lesovykh gruntov* [Use of explosion energy to eliminate the loosening properties of loess soils. In the book: Using the Explosion Energy in the National Economy]. Kiev, Scientific Thought Publ., 1970. Part 3, pp. 142–145.
6. Lytvynov Y. M. *Glubinnoe ukreplenie i uplotnenie prosadochnykh gruntov* [Deep strengthening and seal of subsidence soils]. Kiev, The Builder Publ., 1969. 184 p.
7. *Metodicheskie rekomendacii po uplotneniju prosadochnykh gruntov gidrovzryvnym sposobom* [Methodological recommendations for compaction of subsidence soils by hydraulic and explosive method]. Kiev, NYYSK Publ., 1980. 76 p.
8. Zotsenko M. I. *Inzhenerna heolohiya. Mekhanika hruntiv, osnovy ta fundamenti* [Engineering geology. The mechanics of soils, bases and foundations]. Poltava, PolNTU Publ., 2004. 568 p.
9. Konyukhov D. S. *Stroitel'stvo gorodskih podzemnykh sooruzhenij melkogo zalozhenija. Special'nye raboty* [Construction of urban underground structures of shallow contour interval. Special works]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2005. 304 p.
10. Kharytonov V. A. *Podzemnye zdaniya i sooruzhenija promyshlennogo i grazhdanskogo naznachenija* [Underground buildings of industrial and civil buildings purpose]. Moscow, Association of Construction Universities Publ., 2008. 256 p.
11. Yakovlev A. V. *Osoblyvosti proektuvannya, budivnytstva, ekspluatatsiyi budivel' i sporud na lesovomu hrunti ta zsvonebezpechniy terytoriyi Ukrayiny* [Features of design, construction and operation of buildings and structures in loess soil and landslides in Ukraine]. Kiev, NMK VO Publ., 1992. 252 p.
12. Vynnykov Yu. L. *Eksperimental'ni doslidzhennya anizotropiyi lesovoho suhlynku v mezhakh hruntovoyi podushky* [Experimental researches of loess loam anisotropy soil within the pillow]. *Zbirnyk naukovykh prats PNTU*. [Proc. of Poltava National Technical University], 2002, issue 10, pp. 44–49.
13. Lopan R. M. *Vzayemozv'yazok fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk hruntiv pishchanykh podushok z parametramy yikh ukochuvannya* [The relationship of the physical and mechanical characteristics of soils from sand pillows with parameters of roleling]. *Avtoref. dys. kand. tekhn. Nauk, 05.23.02*. [Proc. of Odessa State Academy construction and Architecture], 2012. 24 p.
14. Vynnykov Yu. L. *Matematychni modelyuvannya ukochuvannya rozkryvnykh porid* [Mathematical modeling of overburden rocks reeling]. *Zbirnyk naukovykh prats PHASA*. [Proc. of Dnieper State Academy of Construction and Architecture], 2011, pp. 83–88.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

15. Rukovodstvo po proektirovaniju osnovanij zdanij i sooruzhenij [Guidelines for the design of buildings and structures foundations]. Moscow, NIOPS named after N. M. Geravanov Publ., 1978. 375 p.
16. Suvorov D. H. Ob udarnom vzaimodejstvii rabocheho organa trambujushhih mashin s gruntom [On the shock interaction of the working body of the ramming machines with soil]. Proceedings of universities. Building, 2000. №7-8, pp. 102–107.
17. Kharchenko M. O. Otsinka neodnorodnosti ushechi-l'nenykh hruntiv shtuchnykh osnov [Assessment of compacted soils artificial bases heterogeneity]. Avtoref. dys. kand. tekhn. Nauk, 05.23.02. [Proc. of Poltava National Technical University], 2010. 23 p.
18. Heibroek G., Kebler S., Triantarullidis T. On predicting of vibrocompactoin performance using numerical models. *Proceedings of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Madrid, 2007. pp. 1323-1327.
19. Pak A., Shanir H., Ghassemi A. Behavior of dry and saturated soils under impact load during dynamic compaction. *Proceedings of 16th Intern Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Osaka, 2005. pp. 1245-1248.
20. Zotsenko M., Vynnykov Y., Yakovlev A. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration method. *Proceedings of XIVth Danube – European Conf. on Geotechnical Eng. – Bratislava: Slovak University of Technology*, 2010. pp. 245-253.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н.,проф. З. Я. Бліхарським (Україна), д.т.н., доц. О. Л. Тютькіним (Україна).

Надійшла до редколегії 12.08.2016.

Прийнята до друку 26.09.2016.