

УДК 624.131.38

Винников Ю.Л., д.т.н., проф.
Литвиненко Т.В., аспірант⁴⁶
Полтавський національний
технічний університет
імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава, Україна

НОВІ КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОГО УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТІВ ДОРОЖНЬОГО НАСИПУ ЗА УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ

Анотація. Для забезпечення довготривалої міцності ґрунтів дорожнього насипу пропонується виконувати ущільнення до максимального значення щільності скелета ґрунту при вологості, яка відповідає максимальній кількості зв'язаної води.

Ключові слова: дорожній насип, ущільнений ґрунт, вологість, щільність скелета ґрунту, зв'язана вода, тривала міцність ґрунту.

Ґрунтові насипи є обов'язковим атрибутом будівництва дорожніх магістралей і залізничних доріг, створення гребель, дамб тощо. Практика зведення й експлуатації доріг свідчить про достатньо характерні випадки наднормативних деформацій і навіть руйнування ґрунтових насипів не лише у несприятливих природно-кліматичних, інженерно-геологічних і гідрологічних умовах (як-то гірські райони Криму й Карпат, схили з проявом зсувних процесів), але й у порівняно сприятливих умовах рівнини [1]. Тому однією з актуальних проблем при зведенні ґрунтових споруд є забезпечення їх тривалої міцності, тобто, коли за нормативний час експлуатації зберігаються отримані після ущільнення величини механічних характеристик ґрунту, а

⁴⁶ © Винников Ю.Л., Литвиненко Т.В.

наднормативні деформації не виникають [2, 3].

Раніше автори [4, 5] встановили взаємозв'язок між питомим опором penetрації, що є узагальненим показником міцності ґрунту, його питомим об'ємом скелету та вологістю і довели, що зміна вологості чи щільності скелета ґрунту суттєво змінює показники його міцності. Тому для досягнення тривалої міцності ущільненого ґрунту, що є необхідним для тривалої експлуатації насипу, слід забезпечити вимоги збереження в часі стабільної щільності скелета ґрунту й вологості [1, 2]. Такі умови виконуються при ущільненні ґрунту до максимально можливої щільності при вологості, близькій до максимального вмісту зв'язаної води. Ущільнений таким чином ґрунт зберігає стабільні у часі щільність скелета ґрунту й вологість, що забезпечує тривалу міцність дорожнього насипу [6].

Сучасний підхід до зведення штучних ґрунтових масивів у світі [3, 7] суттєво не відрізняється від прийнятого в Україні - нормують щільність скелета ґрунту ρ_d , еталонну величину якої визначають для кожного виду ґрунту в лабораторії за тестом Проктора (ASTM D 698-91) чи його модифікацією (ASTM D 1557-91), принцип яких аналогічний нормативному [8]. Можливе узагальнення, що коефіцієнт ущільнення ґрунту дорожнього насипу коливається в межах $0,93 \leq k_s \leq 1,01$ [6]. Однак проблема полягає в тому, що оптимальні параметри (максимальну щільність скелета ґрунту ρ_{dmax} і його оптимальну вологість W_{opt}) призначають, виходячи з отриманих у лабораторних умовах значень для конкретного виду ґрунту й параметрів динамічного навантаження без урахування параметрів фактичних механізмів.

Натурними дослідженнями проф. В.Д. Казарновського

[3] й авторів [4] доведено, що оптимальна вологість залежить від тиску, що створює техніка при ущільненні масивів. Підвищення тиску на ґрунт призводить до зміщення кривої стандартного ущільнення вліво при збільшенні значення щільності скелета ґрунту (рис. 1). Отже, величина максимальної щільності зростає, а оптимальна вологість зменшується ($W_{opt2} < W_{opt1}$).

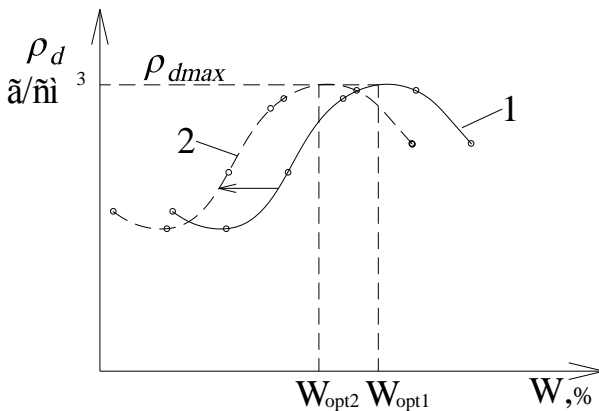


Рис. 1 – Зміщення кривої стандартного ущільнення ґрунту при підвищенні тиску на ґрунт (відповідно графіки 1 та 2)

Отже, при збільшенні контактних тисків значення оптимальної вологості зменшується, проте цей процес можливий лише за рахунок зміни кількості вільної води. Для витиснення зв'язаної води з пор ґрунту необхідні значні зусилля, що у декілька раз перевищують ті, які виникають при ущільненні. Тому граничною межею зменшення оптимальної вологості за рахунок збільшення максимальних контактних тисків є значення, близьке до максимальної кількості зв'язаної води у ґрунті W_{con} . При досягненні

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

максимальної щільності скелета ґрунту будуть отримані й найвищі характеристики його міцності [9, 10].

Звідси мета – визначити оптимальні параметри ущільнення, за яких забезпечується тривала міцність ґрунтів дорожнього насипу.

Для тривалої експлуатації ґрунтової споруди важливі не лише максимально досягнуті значення щільності скелета ґрунту та його міцності, а й збереження їх протягом тривалого часу експлуатації. На стан ущільненого ґрунту в часі істотно впливає вологість, при якій проведено ущільнення, й кількісне співвідношення окремих видів води в ущільненому ґрунті [11]. Пропонуємо схему впливу кількісного вмісту різних видів води на стан ущільненого ґрунту в часі (рис. 2). Якщо ущільнення ґрунту виконано при вологості меншій, ніж максимальна кількість зв'язаної води W_{con} (рис. 2, а), то електричний потенціал поверхні твердих частинок не використано, і вони здатні збільшити товщину плівок зв'язаної води δ до максимально можливого значення δ_{max} при додатковому зволоженні ґрунту під час експлуатації ґрунтового масиву. Збільшення товщини плівок зв'язаної води призводить до збільшення початкового об'єму ущільненого ґрунту та деформації споруди.

Слід враховувати й те, що часто зволоження йде нерівномірно, викликаючи нерівномірну деформацію масиву [10]. Якщо ущільнення ґрунту виконано при вологості, що значно перевищує максимальну кількість зв'язаної води (рис. 2, б), то електричний потенціал поверхні твердих частинок повністю використаний, система має нейтральний заряд, а товщина плівок зв'язаної води – максимальну величину [9]. Наявність значної кількості вільної води призводить до того, що з часом ця вода під дією гравітації, власної ваги ґрунту та

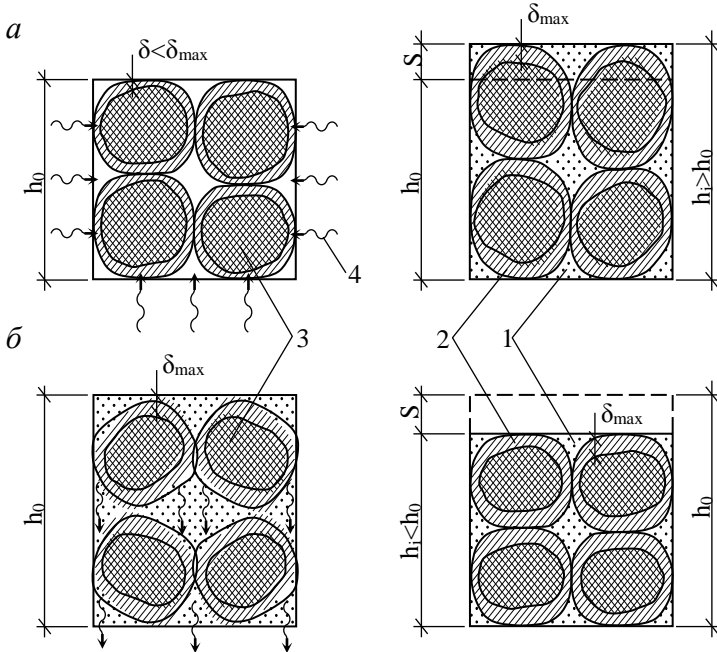


Рисунок 2 – Схема деформацій ущільненого ґрунту з часом:
a – недозволожений ґрунт ($W < W_{con}$); *б* – перезволожений ґрунт ($W > W_{con}$); 1 – вільна вода; 2 – зв’язана вода;
 3 – тверда частинка ґрунту; 4 – напрям руху води

зовнішніх навантажень витискається з пор. Це сприяє додатковому ущільненню ґрунту за рахунок компактного розміщення твердих частинок. Відповідно міцність ґрунту збільшується, проте мають місце нерівномірні деформації [5, 7, 10]. Таким чином, найбільш сприятливою умовою забезпечення тривалої міцності ґрунтів дорожнього насипу і незначних деформацій під час його експлуатації є ущільнення ґрунту при вологості, близькій до максимального вмісту зв’язаної води. Для зв’язних ґрунтів максимальну кількість зв’язаної води орієнтовно можна визначити з виразу

$$W_{con} \approx W_p - 0,02, \quad (1)$$

де W_p – вологість ґрунту на межі пластичності.

Більш точно значення максимальної кількості зв'язаної води можна визначити за таким алгоритмом.

Беруть 50–70 г повітряно-сухого ґрунту, розтирають у ступці, просіюють його крізь сито з розміром отворів 0,5 мм. Ґрунт, що пройшов крізь сито 0,5 мм, замішують у чашці до м'яко-пластичного стану.

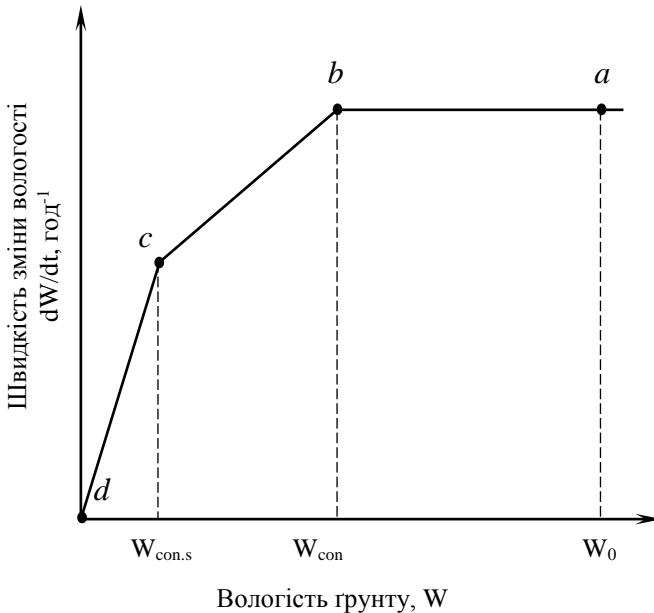
На шматок батисту (полотна) кладуть шаблон – пластину товщиною 2 мм з отвором діаметром 50 мм. Шаблон заповнюють ґрунтовим тістом, надлишок тіста зрізають ножем. Шаблон знімають.

Приготований зразок покривають зверху тканиною, а з обох боків кладуть пакети фільтрувального паперу (по 20 аркушів). Зверху та знизу розміщують жорсткі пластинки, зразок установлюють під гідравлічний прес і доводять тиск до 6,5 МПа, який витримують протягом 10 хв.

Після пресування зразок розбирають і визначають вологість.

Різні види фізично зв'язаної води притиснуті до поверхні частинок різним тиском. Це дозволяє припустити, що швидкість випаровування різних видів води теж різна. Вільна вода випаровується швидше за фізично зв'язану. Різні види зв'язаної води також будуть мати різну швидкість випаровування. На цих передумовах базується метод визначення вмісту окремих видів води, так звана “кінетика сушіння”.

Зразок ґрунту, підготовлений за допомогою шаблону для методу вологомісткого середовища, встановлюють у напівавтоматичну сушильну шафу, яка дає змогу визначити



Точка b відповідає максимальному вмістові зв'язаної води W_{con} , а c – максимальному вмістові

зміну його маси в процесі сушіння та розраховувати швидкість зміни вологості dw/dt . За результатами випробувань будують графік кінетики сушіння, що встановлює залежність між вологістю ґрунту й швидкістю її зміни (рис. 3). Із графіка видно, що процес сушіння складається з двох етапів: постійної швидкості сушіння (ділянка ab) і швидкості сушіння, яка зменшується (bcd).

Перший етап визначений тим, що пружність водяної пари над поверхнею зразка дорівнює пружності насиченої пари, що забезпечено посиленням надходженням вологи до поверхні випаровування.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

На цьому етапі з ґрунту видаляється, головним чином, вільна вода, а також деяка незначна частина зовнішнього шару слабкозв'язаної води.

Наступний етап сушіння характерний зменшенням його швидкості. Це свідчить про видалення спочатку слабкозв'язаної (*bc*), а потім міцнозв'язаної води (*cd*). Початок видалення кожного виду води на графіку має свою точку. Процес ущільнення ґрунтів за умови забезпечення їх тривалої міцності зводиться до наступного.

1. Методом динамічного ущільнення при різних значеннях ударного навантаження будують графіки залежності між максимальним контактним тиском й оптимальними параметрами ущільнення (W_{opt} і ρ_{dmax}).

2. Методом «кінетики сушіння» чи вологомісткого середовища визначають максимальний уміст зв'язаної води W_{con} .

3. На графіку залежності між максимальним контактним тиском в лабораторних умовах σ_{max1} та оптимальною вологістю W_{opt} знаходять тиск σ_{max1c} , який відповідає значенню оптимальної вологості $W_{opt}=W_{con}$.

4. Знаходять потрібний максимальний контактний тиск, який повинен забезпечити у польових умовах ущільнювач $\sigma_{maxc}=K_c \cdot \sigma_{max1c}$ для досягнення після ущільнення максимальної щільності скелету ґрунту. Таким чином, процес ущільнення за умови забезпечення тривалої міцності ґрунтів зводиться до визначення параметрів, які дозволяють ущільнити ґрунт дорожнього насипу до максимально можливої щільності при вологості, близькій до максимального вмісту зв'язаної води.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

Література

1. Р В.2.3–218–02070915–757:2009. Рекомендації з підвищення стійкості високих насипів автомобільних доріг. – К.: Укравтодор, 2009. – 30 с.
2. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. –568 с.
3. Казарновский, В.Д. Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог /В.Д. Казарновский, И.В. Лейтланд, В.К. Мирошкин. – М.: ФГУП «СоюздорНИИ», 2002. – 33 с.
4. Біда, С.В. Аналіз взаємозв'язку питомого об'єму скелета ґрунту та вологості з питомим опором статичної та динамічної пенетрації / С.В. Біда, Ю.Л. Винников, Т.В. Литвиненко // Зб. наук. праць (галузево машинобуд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. – 3 (38). – Т1.– Полтава: ПНТУ, 2013. – С. 57 – 63.
5. Zotsenko, M. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, A. Yakovlev // Proc. of the XIV Danube – European Conf. on Geotechnical Engineering. – Bratislava, 2010. – P. 245 – 253.
6. Коваленко В.И. Исследования уплотняемости связных ґрунтов / В.И. Коваленко, В.Ф. Разоренов, В.Г. Хилобок. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 196 с.
7. Tateyama K. Introduction of Concurrent Engineering to Embankment Construction / K. Tateyama // The Japanese Geotechnical Journal, 2006. – Vol. 54, No. 9. – P. 30 – 32.
8. ДСТУ Б В.2.1-12: 2009. Зміна №1. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – К.: Мінрегіонбуд, 2011. – 19 с.
9. Лебедев А.Ф. Почвенные и ґрунтовые воды / А.Ф. Лебедев. – М.: Сельхозгиз, 1930. – 280 с.
10. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород / В.И. Осипов. – М., 1979. – 235 с.
11. Кузахметова Э.К. Основы прогноза осадки высоких насыпей при использовании глинистых ґрунтов с влажностью выше оптимальной: автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: 05.23.02 / Э.К. Кузахметова. – М.: МАДИ, 1997. – 41 с.

Annotation. For the long-term strength of soils road embankment the compaction perform to the maximum density of the soil skeleton, with

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

moisture, corresponding to the maximum water-holding capacity is offered.

Key words: road embankment, compacted soil, moisture, soil skeleton density, water-holding, continuous soil strength.

Анотация. Для обеспечения длительной прочности грунтов дорожной насыпи предлагается выполнять уплотнение до максимального значения плотности скелета грунта при влажности, соответствующей максимальному количеству связанной воды.

Ключевые слова: дорожная насыпь, уплотненный грунт, влажность, плотность скелета грунта, связанная вода, продолжительная прочность грунта.

Стаття надійшла до редакції у листопаді 2013р.

УДК 620.179.118:625.8(045) Белятинський А.О., д.т.н., проф.
Прусов Д.Е., с.н.с., к.т.н., доц.
Скрипченко О.В., асп.⁴⁷

ПІДВИЩЕННЯ ШОРСТКОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. За останні десятиріччя інтенсивного розвитку дорожньо-будівельної галузі питання підвищення шорсткості покриттів, зокрема цементобетонних, є одним із переважаючих напрямків в діяльності як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. В статті проаналізовано, розроблені вітчизняними та зарубіжними вченими, методи підвищення шорсткості механічними засобами та засобами поверхневої обробки.

Ключові слова: шорсткість, цементобетон, коефіцієнт зчеплення, поверхнева обробка.

⁴⁷ © Белятинський А.О., Прусов Д.Е., Скрипченко О.В.