

ГЕОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШТУЧНИХ ОСНОВ ІЗ РОЗКРИВНИХ МАЛОЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ З УРАХУВАННЯМ ЧИННИКУ ЧАСУ

Манжалій С.М.
«ТОВ «Ворскла сталь»

Винников Ю.Л., Харченко М.О., Лопан Р.М.
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка
м. Полтава, Україна

АНОТАЦІЯ: Досліджено вплив фактору часу на характеристики ущільнених пісків розкривних, мілких і середньої крупності, однорідних та їх сумішей. Встановлено, що у нижніх шарах подушки відбулося додаткове ущільнення від власної ваги вищерозташованого ґрунту. Зафіксовано більш високу інтенсивність його самоущільнення при вологості $w = 20 \dots 25\%$ порівняно з $w = 6 \dots 18\%$.

АННОТАЦІЯ: Исследовано влияние фактора времени на характеристики уплотненных песков вскрышных, мелких и средней крупности, однородных и их смесей. Установлено, что в нижних слоях подушки произошло дополнительное уплотнение от собственного веса вышерасположенного грунта. Зафиксирована более высокая интенсивность его самоуплотнения при влажности $w = 20 \dots 25\%$ по сравнению с $w = 6 \dots 18\%$.

ABSTRACT: This paper discusses influences of the time factor on the physical and mechanical properties of compacted soil. Homogeneous soils and heterogeneous composites of the overburden, fine and medium sands were investigated. We established that lower layers of the soil embankments have additional compaction due to the upper soil layers weight. Soil own compaction is increasing for the soil moisture $w = 20 \dots 25\%$ instead of moisture $w = 6 \dots 18\%$.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: укочування ґрунту, піщана подушка, щільність скелета ґрунту, багатofакторний дисперсійний аналіз, чинник часу.

ВСТУП

Згідно будівельних норм [1] та інших джерел [2, 3] «при проектуванні фундаментів на основах, що складені насипними ґрунтами, слід ураховувати: мінливість та неоднорідність складу, нерівномірність стисливості, здатність до самоущільнення протягом часу, ущільнення від вібраційних навантажень, замочування і розкладання органічних речовин, що містяться у насипу».

Ущільненим піщаним подушкам притаманна неоднорідність, за параметри якої можуть бути прийняті: випадковий розкид значень характеристик ґрунтів, анізотропія їх механічних властивостей, закономірності ущільнення середовища за глибиною тощо. Ці параметри залежать від виду та природних властивостей матеріалу штучної основи, технологічних параметрів її зведення [2 – 7].

Важливим питанням [8] при зведенні земляних споруд є забезпечення їх тривалої міцності, тобто коли протягом нормативного часу експлуатації зберігаються отримані після ущільнення механічні властивості ґрунту і не розвиваються наднормативні деформації. Відомо, що на властивості ущільненого ґрунту в часі суттєво впливає вологість, при якій проведено ущільнення, й кількісне співвідношення зв'язаної та незв'язаної води у ущільненому ґрунті.

Тому за мету роботи було визначено дослідження впливу технологічних чинників і фактору часу на фізичні характеристики, а саме щільність скелета ґрунту, ущільнених пісків розкривних, мілких і середньої крупності, однорідних та їх сумішей у складі піщаних подушок.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень обрано геотехнічний супровід зведення з розкривних пісків (мілкий, однорідний; мілкий з домішками супіску пилювато-го; середньої крупності, однорідний) подушки товщиною 4...6 м і площею 190 га (пошаровим ущільненням вібраційними кулачковими і гладкими й пневматичними котками) під споруди заводу «Ворскла сталь» у м. Горішні Плавні Полтавської області [9]. Так шляхом лабораторних і натурних досліджень отримано понад 3000 випадкових величин фізико-механічних характеристик ущільнених пісків та їх сумішей, визначено вплив технологічних факторів на розкид цих значень, статистично обґрунтовано для фізичних властивостей ґрунтів подушок коректність застосування нормального закону розподілу, а сумішей – поліномоекспоненційного, для модуля деформації ущільнених ґрунтів і сумішей – логарифмічно нормального, кута внутрішнього тертя – нормального, пи-

того зчеплення – логарифмічно нормального закону розподілу. Для рівнянь взаємозв'язку між питомим об'ємом скелета ґрунту і модулем деформації, кутом внутрішнього тертя, питомим зчепленням кожного типу пісків слід визначити його індикаційні ознаки – вільний член й кутовий коефіцієнт лінійних рівнянь [9]. Для визначення впливу сукупності технологічних факторів та їх змінності на властивості ущільненого ґрунту піщаних подушок, а також на їх статистичні параметри, використано багатofакторний дисперсійний аналіз.

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У табл. 1 зведено дослідні значення математичних очікувань і коефіцієнтів варіації щільності скелета ґрунту, його вологості, початкові

Таблиця 1

Статистичні дані технологічних параметрів і відповідні величини щільності скелета ґрунту

Типи	Кількість проходів механізму, його режим	Товщина шару ґрунту	Вологість ґрунту	Вид ґрунту, кількість домішок	Щільність скелета ґрунту
	$x_{\text{ср}}$	$x_{\text{ср}}, \text{ см} / v, \%$	$x_{\text{ср}}, \% / v, \%$	Вид / к-ть домішок, %	$x_{\text{ср}}, \text{ г/см}^3 / v, \%$
1	8+	35/10	12,49/13,7	ПСК*/5	1,737/3,9
2	6	35/10	9,98/30,3	Супісок/15	1,667/4,4
3	8+	55/26	7,98/30	ПСК*/5	1,759/4,4
4	4+	45/15	5,71/24	ПМ+П**/5	1,728/1,8
5	6	45/15	7,103/17,1	ПМ+П**/5	1,748/1,3
6	4+	45/15	9,27/37,6	ПМ+П**/5	1,74/4,7
7	6	55/26	10,17/36	ПСК*/5	1,756/4,9
8	4+	45/15	7,24/36	ПСК*/5	1,767/4,4
9	8+	45/15	10,42/34,9	ПМ+П**/5	1,724/2,7
10	4+	55/26	11,49/16,6	ПМ+П**/5	1,744/4
11	8+	35/10	9,73/34	Супісок/15	1,721/3,3
12	6	35/10	6,84/23,1	ПСК*/5	1,763/2,5
13	4+	35/10	8,27/28	ПМ+П**/5	1,733/2,3
14	6	45/15	10,94/34	ПМ+П**/5	1,742/2,3
15	4+	45/15	8,99/17	ПМ+П**/15	1,738/1,8
16	8+	55/26	7,48/13	ПМ+П**/15	1,715/2,8
17	6	55/26	9,01/19	ПМ+П**/15	1,701/2

8+ – 8 проходів одним слідом у віброрежимі; 6 – 6 проходів слідом у безвібраційному режимі; ПСК*/5 – пісок середньої крупності, 5% домішок супіску; ПМ+П**/5 – пісок мілкий, місцями пилуватий, 5 (15)% домішок супіску; супісок/15 – 15 % домішок піску пилуватого; v – коефіцієнт варіації; $x_{\text{ср}}$ – середнє значення

товщини шару, ущільнюючого тиску, а також вид ґрунту й вміст у ньому домішок. Отримано адекватну функцію відклику для математичного очікування щільності скелета ґрунту ρ_d (Y) у залежності від технологічних факторів (X_1 – вид ґрунту й вміст у ньому домішок; X_2 – кількість проходів за одним слідом і режим роботи ущільнюючого механізму; X_3 – товщина відсипаного шару до ущільнення) поліному другого ступеню:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3, \quad (1)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти регресії, що показують ступінь впливу даного фактору на функцію відклику;

$b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ – коефіцієнти, що характеризують парну взаємодію; $x_{1...3}$ – закодовані змінні.

У табл. 2 приведено значення і розмірність коефіцієнтів апроксимуючого полінома (1). При цьому значення критерію Фішера для даної функції відклику склало $k_f = 3,46 < k_{fr} = 3,73$ при довірчій ймовірності $p = 0,95$, а коефіцієнт кореляції $r = 0,91$. Тобто, отриманий поліном адекватно характеризує дослідну залежність щільності скелета ущільненого масиву від виду ґрунту й вмісту в ньому домішок, кількості проходів за одним слідом і режиму роботи ущільнюючого механізму, товщина відсипаного шару до ущільнення.

Таблиця 2
Значення та розмірність коефіцієнтів апроксимуючого полінома

№ п/п	Коефіцієнт	Одиниця виміру	Значення
1	b_0	г/см ³	1,7438
2	b_1	г/см ³	0,024
3	b_2	г/см ³	0
4	b_3	г/см ²	-0,005
5	b_{11}	г/см ³	0
6	b_{22}	г/см ³	0,012
7	b_{33}	г/см	-0,01
8	b_{12}	г/см ³	-0,011
9	b_{13}	г/см ²	0
10	b_{23}	г/см ²	0

Отже, можливі узагальнення щодо проектування подушок: 1) найбільш суттєвий вплив на математичне очікування щільності скелета має вид ґрунту і вміст у ньому домішок; 2) другим за значимістю чинником є кількість проходів за одним слідом і режим роботи механізму (вібраційний чи статичний); 3) найменший вплив на вихідні параметри має товщина шару ґрунту до ущільнення.

У насипних ґрунтах постійно відбуваються процеси самоущільнення, зміцнення а, з іншого боку – розпушення. Вони залежать від цілого ряду факторів: виду ґрунту, його стану і гранулометричного складу, способу відсипання й ущільнення, зміни у часі гідрогеологічного режиму в тілі насипу, час відсипання та ін. Так у пісках кварцові частинки за рахунок взаємодії кремнегеля можуть злипатися між собою і з часом при деяких умовах зміцнюють породи. Найбільша інтенсивність зміцнення у піщаних ґрунтах відбувається протягом 2...3 років, а у глинистих – 5...10 років, потім вона поступово затухає. Ці процеси досліджувались і на цьому об'єкті.

Так на момент досліджень зміни характеристик ущільнених ґрунтів з плином часу вік подушки складав близько 2 років. Додатковий геотехнічний контроль виконували на захватках, де 1...1,5 років тому була встановлена невідповідність проектним значенням щільності скелета ґрунту в її нижніх шарах. Результати досліджень показали, що у цих шарах відбулося додаткове ущільнення від власної ваги ґрунту, що знаходиться вище них. Також спостерігалась більш висока інтенсивність його самоущільнення при вологості $w = 20...25\%$ у порівнянні із $w = 6...18\%$. Інтенсивність самоущільнення залежить і від величини тиску від власної ваги ґрунту σ_{zg} .

За однакового тиску від власної ваги ґрунту спостерігались значення щільності скелета ґрунту на 6% більші (з 1,62 до 1,65 г/см³) при вологості $w = 20...25\%$. Це явище можна пояснити наступним чином. При вологості ґрунту, більшій за максимальну кількість зв'язної води, електричний потенціал поверхні частинок повністю використаний, система має нейтральний заряд і товщина плівок зв'язаної води має максимальне значення. Наявність значної кількості вільної води приводить до того, що з часом вона під дією гравітації, власної ваги ґрунту і зовнішніх навантажень витискається з пор ґрунту, що спричиняє його додаткове ущільнення за рахунок більш компактного розташування частинок. Таким чином, потрібно намагатися зводити штучні ущільнені ґрунтові масиви при вологості, рівній максимальній кількості зв'язної води, бо в цьому разі зміна характеристик у часі буде майже відсутньою.

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень впливу технологічних факторів і чиннику часу на характеристики ущільнених пісків можливі **висновки**.

Мінливість щільності скелета ґрунту в насипу залежить від змінності технологічних факторів, що мають місце при його зведенні. Експериментально-статистичним моделюванням отримано функцію відклику для математичного очікування щільності скелета ґрунту. Найсуттєвіший вплив

на цей показник має вид ґрунту та процентний вміст у ньому домішок. Для забезпечення більш однорідних за глибиною характеристик подушок ґрунт слід ущільнювати близькими за товщиною шарами. Мінливість цього значення при зведенні масивних подушок коливається у межах 10...26%. При поверхневому контролі щільності скелета ґрунту цей технологічний фактор виявився найменш впливовим.

Встановлено, що у нижніх шарах подушки відбулося додаткове ущільнення від власної ваги вищерозташованого ґрунту. Зафіксовано більш високу інтенсивність його самоущільнення при вологості $w = 20...25\%$ порівняно з $w = 6...18\%$. Проектування процесу ущільнення ґрунту штучних масивів за умови їх тривалої міцності зводиться до визначення параметрів, які дозволяють його ущільнити до максимально можливої щільності при вологості, близькій до максимального вмісту зв'язаної води.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування. Зі змінами №1 і №2: ДБН В.2.1-10-2009. - [Чинний від 2009-01-07]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 161 с. (Національний стандарт України).
2. Крутов В.И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах / В.И. Крутов. – М.: Стройиздат, 1988. – 224 с.
3. Van Impe, W.F. On the design, construction and monitoring of embankments on soft soil in underwater conditions / W.F. Van Impe, R.D. Verastegui Flores. – SPtb.: «Georeconstruction – Fundamentproject», 2007. – 164 p.
4. Зоценко М.Л. Використання «хвостів» Полтавського ГЗК при влаштуванні земляних споруд / М.Л. Зоценко // Світ геотехніки, 2005. – № 4. – С. 7 – 11.
5. Корнієнко М.В. Особливості влаштування ґрунтових подушок в сучасних умовах / М.В. Корнієнко, В.П. Голуб, А.М. Ращенко // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – Вип. 71. - Т. 2. – К.: ДП НДІБК, 2008. – С. 19 – 26.
6. Tateyama K. Working Group on the Earth Structure for Road, Railway and Airport (WG2) // Geotechnical Pavement Research in Japan II – Final Report. – Tokio, 2013. – P. 110 – 132.
7. Alberto Y. Comprehensive study on the influence of non-plastic fines in the static and cyclic response of sands / Y. Alberto, I. Towhata // Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. – Edinburgh, UK, 2015. – P. 2337 – 2342.
8. Шон Б.Ч. Длительная устойчивость водонасыщенных оснований насыпей / Б.Ч. Шон // Весник МГСУ. – М.: МГСУ, 2006. – № 1. – С. 61 – 68.
9. Геотехнічні властивості штучних основ із розкривних малозв'язних ґрунтів / [Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, Р.М. Лопан, С.М. Манжалій] // Основи та фундаменти: зб.наук. праць. – Вип. 37. – К.: КНУБА, 2015. – С. 179 – 189.

REFERENCES

1. DBN V.2.1-10-2009 Bases and foundations of buildings and structures. General statements of design. With Change №1 and №2: [Effective as of 01.07.2009]. – K.: Ukraine Ministry of Regional Development, 2012. – 161 p. (National Standard of Ukraine).
2. Krutov V. Bases and foundations on soil embankments / V. Krutov. – M.: Stroyisdat, 1988. – 224 c..
3. Van Impe, W.F. On the design, construction and monitoring of embankments on soft soil in underwater conditions / W.F. Van Impe, R.D. Verastegui Flores. – SPtb.: «Georeconstruction – Fundamentproject», 2007. – 164 p.
4. Zotsenko N. Application of the Poltava mining soil waste for the arrangement of soil embankments / N. Zotsenko // World of geotechnics, 2005. – № 4. – P. 7 – 11.
5. Kornienko M. Features of the soil embankments arrangement in the modern conditions / M. Kornienko, V. Golub, A. Rahenko // Building constructions Interdepartmental scientific and technical periodical book. – # 71., T. 2. – K.: SESRIofBC, 2008. – P. 19 – 26.
6. Tateyama K. Working Group on the Earth Structure for Road, Railway and Airport (WG2) // Geotechnical Pavement Research in Japan II – Final Report. – Tokio, 2013. – P. 110 – 132.
7. Alberto Y. Comprehensive study on the influence of non-plastic fines in the static and cyclic response of sands / Y. Alberto, I. Towhata // Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. – Edinburgh, UK, 2015. – P. 2337 – 2342.
8. Shon B. Long term stability of water-saturated soil embankments / B. Shon // MSUofCE Papers. – M.: MSUofCE, 2006. – № 1. – P. 61 – 68.
9. Geotechnical properties of the artificial bases arranged from small cohesive soils Yu. Vynnykov, M. Harchenko, R. Lopan, S. Mangaliy // Bases and foundations: Interdepartmental scientific and technical periodical book. – # 37. – K.: KNUCA, 2015. – P. 179 – 189.

Стаття надійшла до редакції 11.08.2016 р.