

*В.І. Коваленко, к.т.н., доцент, Р.М. Лопан, асистент
В.А. Василенко, студентка, Т.В. Литвиненко, студентка
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
П.М. Омельченко, к.т.н
ТОВ «ЕКФА», м. Полтава*

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ УЩІЛЬНЕНИХ УКОЧУВАННЯМ РОЗКРИВНИХ ПІСКІВ

Наведено алгоритм методики визначення механічних властивостей ущільнених укочуванням розкривних пісків подушок.

Ключові слова: *піщана подушка, питомий об'єм скелета ґрунту, кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення, модуль деформації, ізополя.*

*В.И. Коваленко, к.т.н., доцент, Р.М. Лопан, ассистент
В.А. Василенко, студентка, Т.В. Литвиненко, студентка
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,
П.Н. Омельченко, к.т.н
ООО «ЕКФА», г. Полтава*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПЛОТНЕННЫХ УКАТКОЙ ВСКРЫШНЫХ ПЕСКОВ

Приведен алгоритм методики определения механических свойств уплотненных укаткой вскрышных песков подушек.

Ключевые слова: *песчаная подушка, удельный объем скелета ґрунта, угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль деформации, изополя.*

*V.I. Kovalenko, Cand. Sci. (Tech), Assoc. Prof, R.M. Lopan, assistant
V.A. Vasylenko, student, T.V. Lytvynenko, student
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University,
P.M. Omelchenko, candidate of science
TOV "EKFA", Poltava*

THE MECHANICAL PROPERTIES DETERMINATION METHOD OF COMPACTED BY ROLLING STRIPPING SANDS

The algorithm of method of determination of mechanical properties of compacted stripping sands of cushion by rolling is presented.

Keywords: *sand cushion, specific volume dry soils, corner of internal friction, unit cohesion, modulus of deformation, isolines.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. На сьогодні будівельники при зведенні нових об'єктів використовують підтоплені території, складені слабкими ґрунтами. За цих умов влаштовують штучні масиви з покращеними характеристиками порівняно з природними ґрунтами, зокрема піщані подушки. Для їх зведення потрібний значний об'єм ґрунтів, що вибирають із кар'єрів, улаштування яких призводить до втрати родючих земель. Це загострює екологічні проблеми. У той же час значні площі, що використовувалися для сільського господарства, вкриті відвалами гірничо-збагачувального виробництва – дисперсними породами, що містять бідні руди; відходи збагачення; шлами й „хвости” гірничо-збагачувальних фабрик; розкривні ґрунти тощо [1].

Економічно й екологічно доцільно використовувати розкривні породи кар'єрів як матеріал подушок. Їх використання не забороняється й нормами [2]. Але геотехнічні аспекти застосування розкривних порід у піщаних подушках вивчено

недостатньо [3, 4].

Можливо підвищити якість і надійність проектування та зведення геомасивів шляхом урахування взаємозв'язку між фізичними і механічними параметрами ґрунтів; складання ізополів механічних властивостей ґрунту; розроблення 3D-моделей ґрунтових умов; реалізація моделей розподілів випадкових величин властивостей ґрунтів природних і штучних масивів тощо [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Визначення механічних характеристик ущільнених ґрунтів подушок у достатньому для їх проектування об'ємі пов'язано зі значними витратами часу і матеріальних ресурсів. Однак встановлено [6], що між показниками механічних властивостей і фізичного стану ґрунтів за певних умов може бути отримано кореляційні залежності. Певні залежності механічних характеристик ґрунтів від фізичних властивостей з урахуванням параметрів ущільнення досліджувалися лише для зв'язних ґрунтів [6 – 8] та їх сумішей [4].

Норми [2] розрахунків основ будівель і споруд II й III класу дозволяють визначати величини характеристик міцності та деформативності ґрунтів за їх фізичними показниками. При проектуванні великої кількості об'єктів в умовах відносно однакових нашарувань ґрунту (матеріалу подушок) є досвід розроблення таблиць орієнтовних значень модуля деформації E , кута внутрішнього тертя φ та питомого зчеплення c для ґрунтів цього регіону (для пісків їх складають залежно від гранулометричного складу та коефіцієнта пористості ґрунту).

Встановлено можливість коректного моделювання процесу укочування піску методом скінчених елементів (МСЕ) за умов вісесиметричної задачі. Маючи початкову товщину відсипаного шару h і щільність скелета ґрунту ρ_d в ньому, розміри барабана, наявність кулачків і задаючись зниженням поверхні шару під котком Δh , проектувальник отримує щільність скелета ущільненого ґрунту, модуль його деформації та параметри міцності [9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Отже, слід удосконалити методику визначення взаємозв'язку між механічними та фізичними характеристиками ущільнених малозв'язних розкривних пісків кар'єрів з урахуванням технології укочування [10].

Доцільною також є побудова ізополів значень модуля деформації та параметрів міцності в плані та за глибиною масиву [11]. Така графічна інформація, крім високої наочності й інформативності, відрізняється від підсумків лінійної інтерполяції.

Тому за **мету роботи** прийнято вдосконалити алгоритм методики визначення механічних характеристик ущільнених укочуванням розкривних пісків подушок.

Виклад основного матеріалу дослідження. За аналізом результатів досліджень характеристик ущільнених розкривних пісків Лавриковського та Єристовського родовищ у межах подушок під електрометалургійний завод “Vorskla Steel” поблизу м. Комсомольська Полтавської області розроблено алгоритм методики визначення механічних характеристик ущільнених укочуванням розкривних пісків. Він містить такі блоки.

1. Шляхом вхідного (у кар'єрі) контролю визначають гранулометричний склад, щільність частинок, вологість розкривних пісків. Дослідний ґрунт виявився трьох типів: пісок мілкий, однорідний; суміш піску мілкового, однорідного, із супіском пилюватим, пластичним; пісок середньої крупності, однорідний.

2. Призначають технологічні параметри процесу укочування цих пісків: початкову товщину кожного шару відсипаної породи h ; початкова щільність скелета ґрунту ρ_d після відсипання та розрівнювання шару; параметри барабану котка; наявність (відсутність) у нього кулачків; зниження поверхні шару під котком Δh ; режим роботи котка.

3. У лабораторії визначали величини параметрів феноменологічної моделі ущільнення малозв'язного ґрунту. Для всіх типів піску побудовано у напівлогарифмічних координатах лінійні графіки залежності від питомого об'єму скелета ґрунту $1/\rho_d$:

– модуля деформації для чотирьох інтервалів тиску $\sigma = 0 \dots 0,05$; $0,05 \dots 0,1$; $0,1 \dots 0,2$; $0,2 \dots 0,3$ МПа – $\lg E = f(1/\rho_d)$ (рис. 1);

– кута внутрішнього тертя $\lg \varphi = f(1/\rho_d)$ та питомого зчеплення $\lg c = f(1/\rho_d)$ (рис. 2).

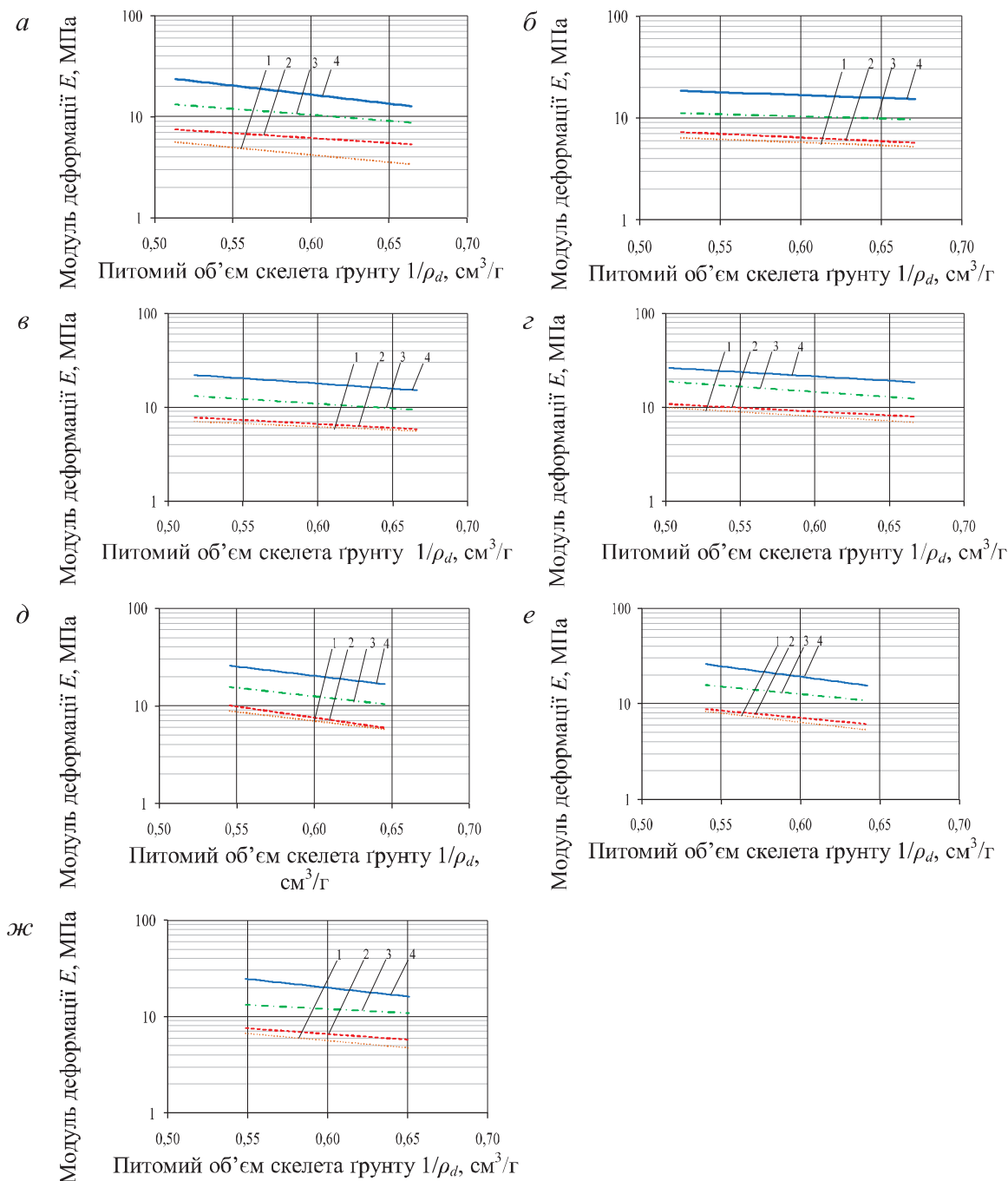


Рисунок 1 – Приклад графіків залежності модуля деформації піску мілкого від питомого об'єму скелета ґрунту $\lg E = f(1/\rho_d)$ для інтервалів тиску σ у процесі компресійних випробувань: 1 – 0 – 0,05 МПа; 2 – 0,05 – 0,1 МПа; 3 – 0,1 – 0,2 МПа; 4 – 0,2 – 0,3 МПа, при різних значеннях вологості w : а – 0 – 5%; б – 5 – 7,5%; в – 7,5 – 10%; г – 10 – 12,5%; д – 12,5 – 15%; е – 15 – 17,5%; ж – 17,5 – 20%

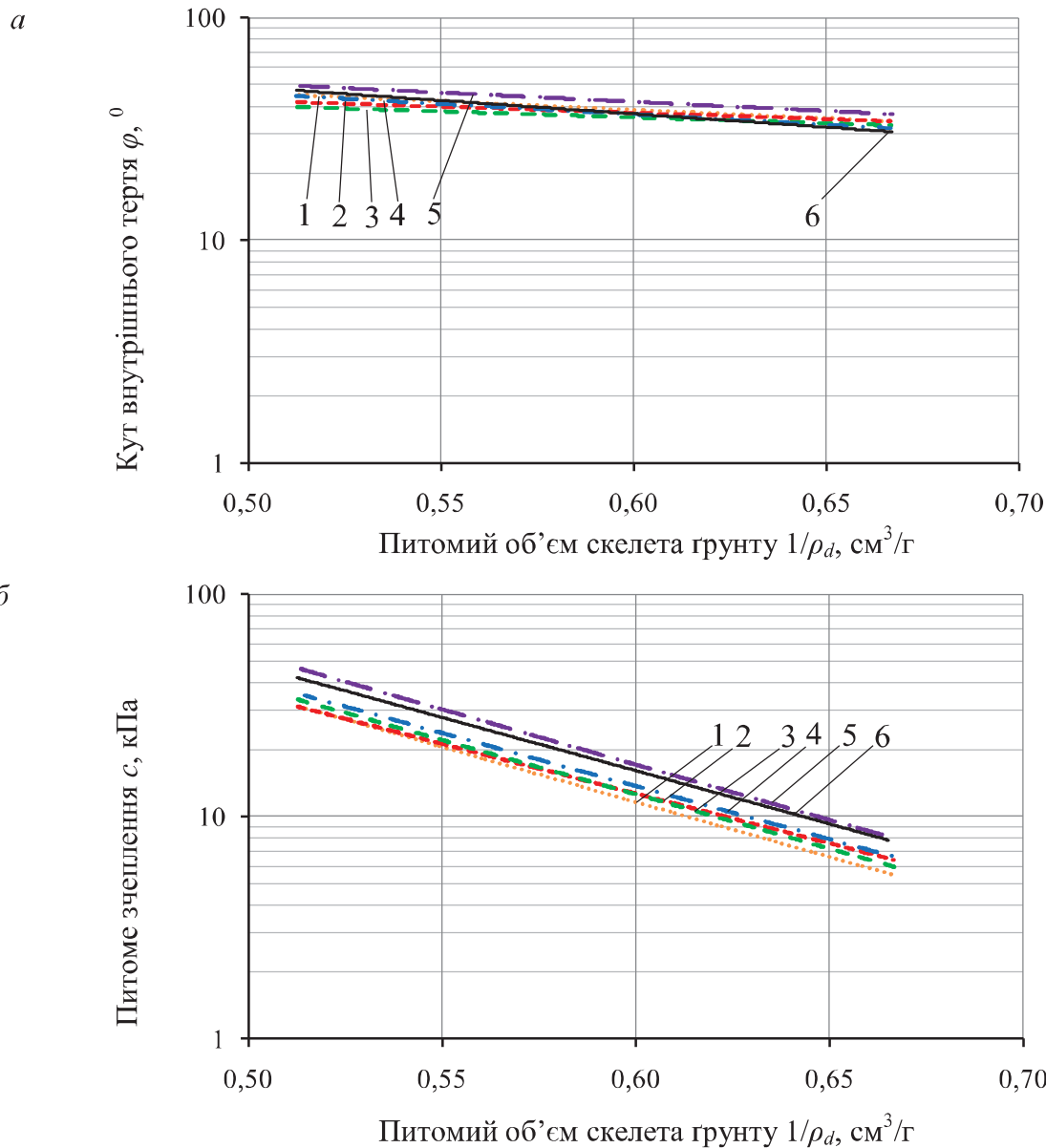


Рисунок 2 – Графіки залежності: а – кута внутрішнього тертя $\lg \varphi = f(1/\rho_d)$; б – питомого зчеплення $\lg c = f(1/\rho_d)$ піску мілкокого від питомого об'єму скелета ґрунту при випробуваннях на одноплосинне зрушення при значеннях вологості w : 1 – 5 – 7,5%; 2 – 7,5 – 10%; 3 – 10 – 12,5%; 4 – 12,5 – 15%; 5 – 15 – 17,5%; 6 – 17,5 – 20%

Розглянемо характерні приклади цих залежностей. З рисунка 1 добре видно, що при зменшенні питомого об'єму скелета ґрунту $1/\rho_d$ величина модуля деформації E зростає для всіх інтервалів вологості; при збільшенні інтервалу тиску в процесі компресійних випробувань σ від 0 – 0,05 до 0,2 – 0,3 МПа значення модуля деформації ґрунту лінійно зростає для кожного виду піску при постійній величині його вологості; лінійні графіки $\lg E = f(1/\rho_d)$ близькі до паралельних; значення вологості суттєво на величину модуля деформації піску не впливає; дещо більші його значення досягаються при вологості ґрунту, близькій до оптимальної, $w = w_{opt}$. Загальне рівняння лінійної залежності модуля деформації E від $1/\rho_d$ має вигляд

$$\lg(E/E_0) = A_E - B_E \cdot (1/\rho_d), \quad (1)$$

де $E_0 = 1$ МПа; A_E, B_E – емпіричні коефіцієнти рівняння взаємозв'язку.

$$A_E = A_{E,0} + A_{E,1} \cdot \sigma, \quad (2)$$

де $A_{E,0}$ та $A_{E,1}$ (МПа⁻¹) – емпіричні коефіцієнти до виразу (2).

З лінійних графіків $\lg \varphi = f(1/\rho_d)$ і $\lg c = f(1/\rho_d)$ (рис. 2) видно, що залежності кута внутрішнього тертя та питомого зчеплення піску від питомого об'єму скелета ґрунту в цілому аналогічні до залежностей модуля деформації від питомого об'єму скелета ґрунту $\lg E = f(1/\rho_d)$.

Рівняння лінійної залежності характеристик міцності від питомого об'єму скелета ґрунту виглядають таким чином:

$$\lg(\varphi/\varphi_0) = A_\varphi - B_\varphi \cdot (1/\rho_d); \quad (3)$$

$$\lg(c/c_0) = A_c - B_c \cdot (1/\rho_d), \quad (4)$$

де $\varphi_0 = 1^\circ$; $c_0 = 1$ кПа; $A_\varphi, B_\varphi, A_c, B_c$ – емпіричні коефіцієнти рівнянь взаємозв'язку $\lg \varphi = f(1/\rho_d)$ та $\lg c = f(1/\rho_d)$.

Значення коефіцієнтів варіації практично всіх рівнянь взаємозв'язку не перевищують $\nu = 0,20$, а коефіцієнтів кореляції більші за $r = 0,85$, що свідчить про достатню коректність цих виразів.

4. МСЕ в межах вісесиметричної задачі чисельно промодельовано процес укочування розкритих пісків, за даними якого отримують щільність скелета ущільненого ґрунту та відповідні їй величини модуля деформації та параметрів міцності кожного шару подушки.

За даними моделювання МСЕ [9] виконано багатофакторний аналіз впливу на максимальне і мінімальне значення щільності скелета ґрунту (відповідно $\rho_{d.s}^{\max}$ та $\rho_{d.s}^{\min}$, т/м³) чинників:

1) початкової щільності скелета ґрунту в межах кожного шару після його відсипання та розрівнювання ρ_d (приймалося $\rho_d = 1,45; 1,50; 1,55$ т/м³);

2) товщини відсипаного шару h ($h = 0,36; 0,45; 0,54$ м); 3) зниження його поверхні під котком Δh ($\Delta h = 0,03; 0,05; 0,07$). У підсумку для гладкого котка отримано рівняння

$$\rho_{d.s}^{\max} = a_0 + a_1 \cdot \rho_d + a_2 \cdot h + a_3 \cdot \Delta h; \quad (5)$$

$$\rho_{d.s}^{\min} = b_0 + b_1 \cdot \rho_d + b_2 \cdot h + b_3 \cdot \Delta h, \quad (6)$$

де $a_0 = 0,205$ т/м³; $a_1 = 1,021$; $a_2 = -0,624$ т/м⁴; $a_3 = 5,692$ т/м⁴ – емпіричні коефіцієнти виразу (1); $b_0 = 0,103$ т/м³; $b_1 = 1,072$; $b_2 = -0,559$ т/м⁴; $b_3 = 4,390$ т/м⁴ – емпіричні коефіцієнти формули (2).

Для виразу (5) коефіцієнт кореляції склав $r = 0,98$, а критерій Фішера $F = 26,6$, що більше за $F_{табл.} \approx 2,0$ при рівні значущості $p = 5\%$ та числі степенів вільності $\nu_1 = 26$ і $\nu_2 = 23$ (отже, формула коректна). Відносна похибка $\rho_{d.s}^{\max}$ при цьому не перевищує 2,4%. Аналогічно для виразу (6) $r = 0,98$, $F = 24,6$. Відносна похибка $\rho_{d.s}^{\min}$ не перевищує 2,1%.

Отже, за товщиною відсипаного шару h , щільністю скелета ґрунту ρ_d в ньому, виду котка, задаючись величиною зниження поверхні шару під котком Δh ,

проектувальник для кожного типу піску має змогу отримати відповідну щільність скелета ґрунту в межах шару подушки.

5. Для кожного шару (чи кількох суміжних шарів у діапазоні глибин до 1 – 1,5 м) ґрунту певного гранулометричного складу окремої карти чи всієї подушки (її частини) побудовано ізополя нормативних значень механічних властивостей ущільненого піску.

Зокрема на рисунках 3 – 5 подано характерні приклади побудови ізополів нормативних значень механічних властивостей ущільненого ґрунту шляхом укочування піску м'якого однорідного в плані подушки під споруди заводу “Vorskla Steel” для діапазону глибин, що не перевищує 1 – 1,5 м.

На рисунку 3 показано ізополя величин модуля деформації E (за компресійного тиску $\sigma = 0,1 - 0,2$ МПа), МПа, ущільненого укочуванням піску м'якого однорідного. На рисунку 4 зображено аналогічним чином побудовані ізополя значень кута внутрішнього тертя φ , град цього ж піску, а на рисунку 5 – ізополя величин його питомого зчеплення c , кПа.

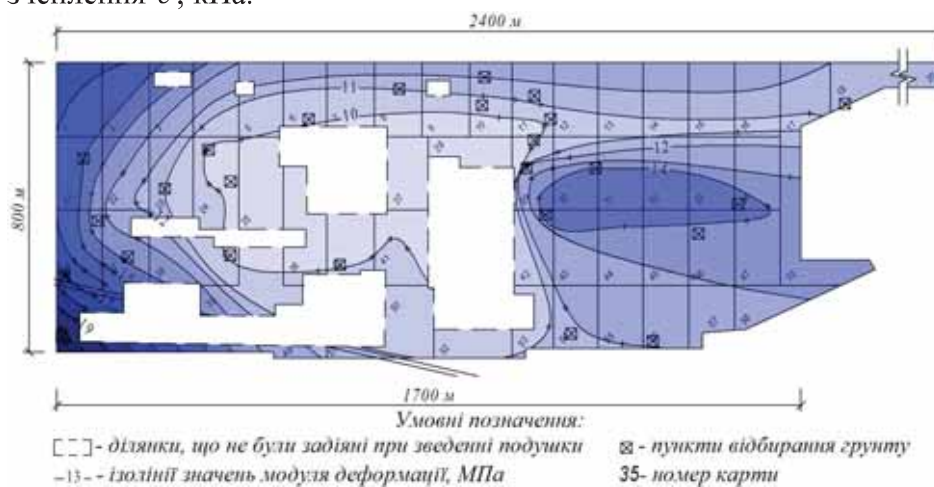


Рисунок 3 – Ізополя величин модуля деформації E ґрунту (за умов випробувань при компресійному тиску $\sigma = 0,1 - 0,2$ МПа), МПа, ущільненого укочуванням піску м'якого однорідного шарів подушки під споруди заводу “Vorskla Steel”

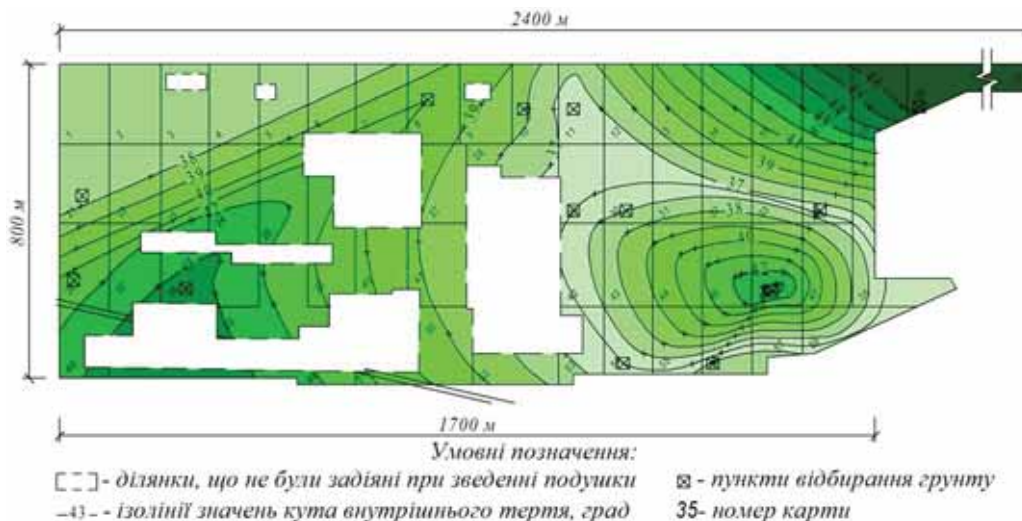


Рисунок 4 – Ізополя значень кута внутрішнього тертя φ , град, ґрунту, ущільненого укочуванням піску м'якого однорідного шарів подушки

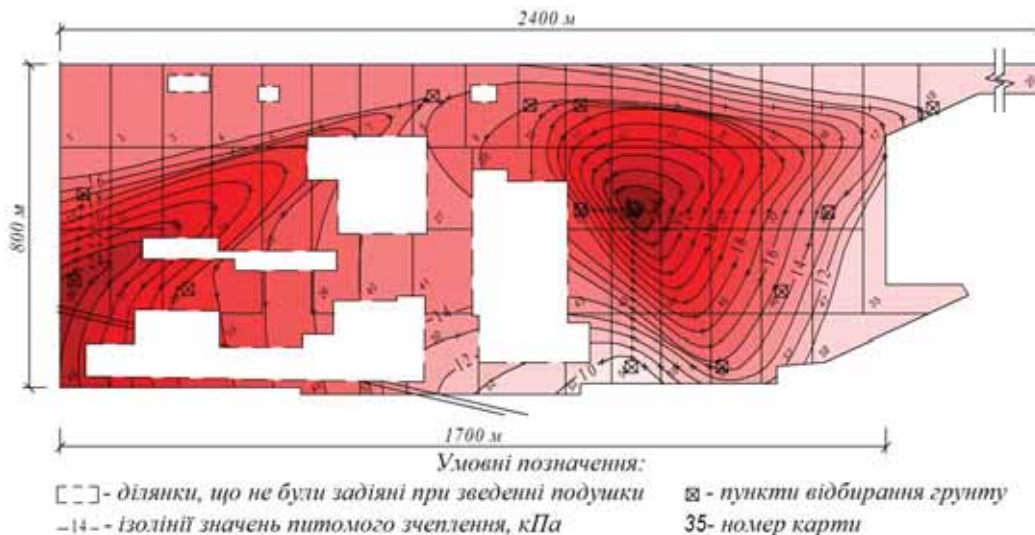


Рисунок 5 – Ізополя величин питомого зчеплення c , кПа, ґрунту, ущільненого укочуванням піску мілкоого однорідного шарів подушки

Наведені на рисунках 3 – 5 ізополя нормативних значень механічних властивостей ущільненого укочуванням мілкоого піску кількох шарів подушки для проектувальників-геотехніків мають високу наочність й інформативність, що має підвищити якість та надійність проектування будівель і споруд на подібних штучних геомасивах, зокрема шляхом урахування встановленої неоднорідності масиву за площею та глибиною при моделюванні МСЕ просторових задач.

Висновки. Отже, в результаті комплексних досліджень удосконалено методику прогнозування геотехнічних властивостей різних типів ущільнених розкривних пісків подушок за параметрами їх укочування: початковою товщиною шару відсипаного піску; початковою щільністю скелета ґрунту після відсипання і розрівнювання шару; розмірами барабану котка; наявністю у нього кулачків; зниженні поверхні шару під котком; режимом його роботи, – отримують щільність скелета ущільненого ґрунту та відповідні їй величини модуля деформації та параметрів міцності ґрунту кожного шару подушки.

Література

1. Тугаєнко, Ю.Ф. Экспериментальное обоснование размеров фундаментов на песчаных водонасыщенных грунтах / Ю.Ф. Тугаєнко, В.М. Пивонос, М.В. Марченко // Основания и фундаменты: республ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Будивельник, 1991. – Вып. 24. – С. 74 – 76.
2. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 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 // Saint Petersburg: NPO «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. Казарновский, В.Д. Геотехнические проблемы при возведении насыпей / В.Д. Казарновский // Российская геотехника – шаг в XXI век: тр. конф. к 50-летию РОМГиФ. – М.: НИИОСП, 2007. – Т. II. – С. 105 – 113.
6. Коваленко, В.И. Исследования уплотняемости связных грунтов / В.И. Коваленко, В.Ф. Разоренов, В.Г. Хилобок. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 196 с.
7. Kim, T.H. Relationship between cohesion and tensile strength in wet sand at low normal stresses / T.H. Kim, J.M. Nam, J.M. Yun // Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil

Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, 2009. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press. – 2009. – P. 364 – 367.

8. Zotsenko, M. *Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods* / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, A. Yakovlev // *Proc. of XIVth Danube – European Conf. on Geotechnical Engineering.* – Bratislava: Slovak University of Technology. – 2010. – P. 245 – 253.

9. Винников, Ю.Л. *Математичне моделювання укочування розкритих порід* / Ю.Л. Винников, Р.М. Лопан // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 61.* – Дн-вск.: ПДАБА, 2011. – С. 83 – 88.

10. Винников, Ю.Л. *Рівняння взаємозв'язку між фізичними та механічними характеристиками ущільнених розкритих малозв'язних ґрунтів з урахуванням параметрів їх укочування* / Ю.Л. Винников, Р.М. Лопан // *Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)* / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 2 (30). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – С. 168 – 179.

11. Барвашов, В.А. *Компьютеризация взаимодействия между изыскателями и проектировщиками* / В.А. Барвашов, Г.Г. Болдырев // *Геотехника.* – 2010. – № 2. – С. 45 – 49.

Надійшла до редакції 26.09.2012

© В.І. Коваленко, Р.М. Лопан, В.А. Василенко,
Т.В. Литвиненко, П.М. Омельченко