

УДК 624.131.22

**ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПОКАЗНИКІВ СТИСЛИВОСТІ
ОСНОВИ ЗА ДАНИМИ КОМПРЕСІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ**

**ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СЖИМАЕМОСТИ ОСНОВАНИЯ ПО ДАННЫМ
КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ҐРУНТОВ**

**IMPROVING THE VERACITY OF COMPRESSIBILITY BASIS FOR
SOIL TESTING DATA COMPRESSION**

**Винников Ю.Л., д.т.н., проф., Косточка Н.А., аспірант (Полтавський
національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)**

**Винников Ю.Л., д.т.н., проф., Косточка Н.А., аспірант (Полтавский
национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,
г. Полтава)**

**Vynnykov Y.L., doctor of technical sciences, prof., Kostochka N.A., post-
graduate student (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University,
Poltava)**

**Викладено порівняльний аналіз похибок вимірів характеристик
стисливості, отриманих за результатами компресійних випробувань
легких пилуватих суглинків.**

**Изложен сравнительный анализ погрешностей измерения
характеристик сжимаемости, полученных по результатам
компрессионных испытаний легких пылеватых суглинков.**

**The comparative analysis of the error characteristics of compressibility
measurements obtained as a result of compression test light silty loams are
presented.**

Ключові слова:

Модуль деформації, стисливість, компресійне випробування ґрунту, похибка.
Модуль деформации, сжимаемость, компрессионное испытание ґрунта,
погрешность.

Deformation modulus, compressibility, compression test of soil, error.

Вступ. Модуль деформації є головною характеристикою ґрунту при визначенні деформацій ґрунтової основи фундаментів будівель і споруд [1 – 5].

Модулем загальної деформації E оцінюється стисливість ґрунту на базі застосування до нього теорії пружності [6].

Однак ця теорія в чистому вигляді не коректна до визначення деформацій ґрунтів [3, 7]. На відміну від модуля Юнга модуль деформації ґрунту описує як значні залишкові, так і незначні пружні деформації ґрунту, у зв'язку з чим і називається модулем загальної деформації. Крім того, інтенсивність стисливості ґрунту в процесі його ущільнення під тиском, не залишається постійною. Це призводить до змінного значення самого модуля деформації ґрунту E від тиску p , що може бути виражено функціональною залежністю $E=f(p)$.

Від точності визначення модуля деформації E залежить достовірність прогнозованого осідання, а отже й розміри і вартість фундаментів, що проектуються. Модуль деформації E є похідною величиною від коефіцієнта стисливості m_0 , а тому точність його визначення залежить насамперед від точності визначення коефіцієнта стисливості [3, 6, 7].

Відомі дослідження з виявлення причин розкиду експериментальних даних зі стисливості ґрунтів і розробки способів підвищення точності визначення модуля деформації ґрунту переважно зводяться до застосування методів математичної статистики чи введення коригуючих коефіцієнтів [3, 6 – 11].

На великий розкид дослідних даних пов'язаних з розходженням властивостей зразків і похибкою дослідів вказував проф. С.С. Вялов: «Цей розкид настільки великий, що розходження в значеннях отриманих даних у межах 10-20% вважається задовільним і навіть гарним збігом, а в 5% – маловірогідним. Тому обробку дослідних даних варто вести методами математичної статистики» [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Заміна нелінійної закономірності стисливості ґрунту на лінійну у вузькому інтервалі тисків для визначення величин характеристик стисливості ґрунту (коефіцієнти стисливості m_0 та відносної стисливості m_v , модуль деформації E) значно знижує достовірність отриманих характеристик деформаційних властивостей ґрунтової основи, яка знаходиться під впливом певного діапазону тиску, що в підсумку веде до заниження точності прогнозування деформацій основи фундаментів будівель і споруд.

Відомий принцип класичної механіки ґрунтів – деформація ґрунту за рахунок зміни його пористості, використовується тільки при одержанні значення характеристик стисливості m_0 , m_v і E від конкретного зразка ґрунту [3, 6, 7]. При отриманні модуля деформації ґрунтової основи E за результатами випробувань декількох зразків цей принцип механіки ґрунтів порушується. Фактично модуль деформації основи E визначають за результатами випробувань зразків ґрунту без урахування впливу їх

пористості на осереднену величину модуля деформації. Величина модуля деформації E , яка є характеристикою зміни пористості ґрунту від тиску, що визначається за зміною пористості окремих зразків, функціонально не пов'язана з їх пористістю та пористістю ґрунтової основи, яку вона повинна характеризувати.

Модуль деформації E є похідною величиною від коефіцієнта стисливості m_0 , а тому достовірність його значення залежить насамперед від точності визначення коефіцієнтів стисливості m_0 , m_v та величини коефіцієнта β , котрий враховує бічне розширення ґрунту.

Фахівцями ПолтНТУ [13] запропоновано оцінювати стисливість ґрунту відношенням коефіцієнта пористості e_p після стискання тиском p до його початкового коефіцієнта пористості e_0 . Ця характеристика стисливості отримала назву коефіцієнта відносної зміни пористості ґрунту при його стисканні A_{pw} . Характеристику стисливості A_{pw} визначають за результатами компресійних випробувань зразків ґрунту за формулою

$$A_{pw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{e_{pi}}{e_{0i}}, \quad (1)$$

де A_{pw} – коефіцієнт відносної зміни пористості ґрунту при його стисливості; n – кількість зразків ґрунту; e_{0i} і e_{pi} – коефіцієнти пористості i -го зразка ґрунту після прикладення відповідно початкового та наступного тиску p .

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Коефіцієнт A_{pw} виражає загальну компресійну закономірність і може розглядатись як параметр стисливості основи. Функціональна залежність $A_{pw} = f(p)$ відображає закономірність стисливості ґрунту при компресійних випробуваннях, за якою стискаються всі зразки даного ґрунту незалежно від їх коефіцієнтів пористості. Коефіцієнт A_{pw} залежить від властивостей даного ґрунту, його вологості й тиску, а не залежить від коефіцієнтів пористості зразків ґрунту. Це є його принциповою перевагою перед іншими відомими параметрами стисливості ґрунту.

Тому за **мету роботи** прийнято – виявлення достовірності оцінювання стисливості ґрунтової основи модулем деформації E і коефіцієнтом A_{pw} .

Викладення основного матеріалу. Для цього проведено аналіз результатів компресійних випробувань 150 зразків легких пилюватих суглинків. Ці зразки відібрано з п'яти глибин: 2; 4; 6; 8; 10 м. За результатами випробувань визначено абсолютні й відносні похибки виміру характеристик

стисливості ґрунту m_0 , m_v і E , а також коефіцієнта відносної зміни пористості ґрунту A_{pv} . Результати визначення похибок виміру деформаційних характеристик приведено в табл. 1.

Таблиця 1
Похибка вимірів при визначенні характеристик стисливості зразків ґрунту

Глибина відбору, м	Інтервал тисків, МПа	Коефіцієнт стисливості m_0		Відносний коефіцієнт стисливості m_v		Модуль деформації E , МПа	
		похибки					
		абсол. Δm_0	відн. $\Delta m_0/m_0\%$	абсол. Δm_v	відн. $\Delta m_v/m_v\%$	абсол. ΔE	відн. $\Delta E/E, \%$
2,0	0,0-0,1	0,0011	5,2	0,0007	6,1	10,5	19,6
	0,1-0,2	0,0011	3,7	0,00074	4,6	6,7	18,1
	0,2-0,3	0,0011	2,6	0,0008	3,5	4,4	17
середнє по шару		0,0011	3,8	0,00075	4,7	7,2	18,2
4,0	0,0-0,1	0,0011	4,8	0,00068	5,7	9,7	19,2
	0,1-0,2	0,0011	2,6	0,00077	3,5	4,6	17
	0,2-0,3	0,0011	2,1	0,00081	3	3,8	16,5
середнє по шару		0,0011	3,2	0,00075	4,1	6	17,6
6,0	0,0-0,1	0,0011	11	0,00062	11,9	29,9	25,4
	0,1-0,2	0,0011	3,9	0,0007	4,8	7,7	18,3
	0,2-0,3	0,0011	3	0,00075	3,9	5,5	17,4
середнє по шару		0,0011	6	0,00069	6,9	14,4	20,4
8,0	0,0-0,1	0,0011	8,5	0,00066	9,4	19,9	22,9
	0,1-0,2	0,0011	6,5	0,00068	7,4	13,8	20,9
	0,2-0,3	0,0011	5,2	0,0007	6,1	10,5	19,6
середнє по шару		0,0011	6,7	0,00068	7,6	14,7	21,1
10,0	0,0-0,1	0,0011	6,5	0,00068	7,4	13,8	20,9
	0,1-0,2	0,0011	3,2	0,00076	4,1	5,8	17,6
	0,2-0,3	0,0011	3,7	0,00074	4,6	6,8	18,1
середнє по шару		0,0011	4,5	0,00073	5,4	8,8	18,9
середнє значення		0,0011	4,8	0,00072	5,7	10,2	19,2

За абсолютними та відносними похибками виміру коефіцієнта відносної зміни пористості ґрунту $A_{pн}$, визначені середні значення по всім шарам ґрунту, що складають: абсолютна похибка – 0,039; відносна похибка – 4,12%.

За даними табл. 1 можливо стверджувати, що точність вимірювання при проведенні компресійних випробувань досить висока й не суттєво впливає на величини деформаційних параметрів ґрунту. Відносна похибка вимірювання при визначенні значення коефіцієнта стисливості складає близько 5%, а відносного коефіцієнта стисливості – 6%, що також вказує на досить високу точність компресійних випробувань.

Однак похибка визначення модуля деформації зразків ґрунту складає близько 20%. Різке підвищення похибки при визначенні розрахункової характеристики стисливості ґрунту E викликано грубою градацією β , котра вносить відносну похибку в 13,5% у значення модуля деформації. Похибка, що виникла за рахунок градації коефіцієнта β в 2 рази перевищує похибку, викликану неточностями вимірювань.

Відносна похибка вимірювання коефіцієнта відносної зміни пористості ґрунту $A_{pн}$ складає 4,12%, що приблизно дорівнює похибці вимірювання при визначенні коефіцієнта стисливості m_0 , однак вона значно менша від величини похибки вимірювання модуля деформації ґрунту E .

Стандартний метод визначення величин деформаційних характеристик ґрунтової основи, як то коефіцієнтів стисливості m_0 й відносної стисливості m_v і модуля деформації E можна поділити на два етапи: перший – отримання деформаційних характеристик зразків ґрунту за даними компресійних випробувань і другий етап – визначення деформаційних характеристик ґрунтової основи, як результат статистичної обробки аналогічних параметрів зразків ґрунту.

Метод обробки результатів компресійних випробувань ПолтНТУ суттєво відрізняється від стандартних методик тим, що за даними лабораторних випробувань визначають відносну зміну коефіцієнтів пористості всіх зразків ґрунту при тиску $p=const$, яка характеризує стисливість основи й не залежить від природного розкиду величин пористості зразків ґрунту. Тому метод названо методом узагальнення результатів випробування зразків ґрунту.

Критерієм оцінювання достовірності відображення стисливості ґрунту може служити порівняння точності визначення різних деформаційних параметрів ґрунту, отриманих за одним і тим же компресійним випробуванням, а точність визначення характеризується розкидом отримуваних даних, які не складно оцінити методами математичної статистики [14].

Величина параметру деформації ґрунту, який визначають за декількома даними випробувань, відрізняється від фактичного на деяку величину похибки, яка викликана розкидом даних випробувань. Однорідність отриманих характеристик випробувань – A_i^{0n} , характеризується величиною середньоквадратичного відхилення – σ та коефіцієнтом варіації – ν [14].

Використовуючи формули теорії випадкових помилок, знайдено точність визначення деформаційних характеристик ґрунту, отриманих з використанням різних методик за результатами одних і тих же компресійних випробувань. Точність визначення модуля деформації ґрунту залежить від точності визначення його похідних: коефіцієнта стисливості m_0 , коефіцієнта відносної стисливості $m_v = m_0 / (1 + e_0)$.

На деформаційну характеристику ґрунту – модуль деформації E , крім похибок компресійних випробувань накладаються ще й похибки визначення коефіцієнта β , на що вказано вище. Модуль деформації ґрунту E рекомендується визначати [6, 7] в інтервалі тисків $p=0,1 - 0,2$ МПа. Тому дослідження проведено саме в цьому діапазоні. Для порівняння за результатами тих же випробувань виявимо точність визначення коефіцієнта відносної зміни пористості ґрунту A_{pv} .

Порівняння деформаційних характеристик проведено на прикладі компресійних випробувань легкого пілуватого суглинку. Коефіцієнти варіації та точність визначення характеристик стисливості ґрунту представлені в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів варіації характеристик стисливості ґрунтів

Глибина відбору, м	Коефіцієнти варіації характеристик стисливості ґрунту ν , %		
	стандартний метод		метод узагальнення результатів
	m_0	$m_v = m_0 / (1 + e_0)$	A_{pv}
2	31,54	28,13	1,02
4	31,82	28,22	0,63
6	37,85	39,83	0,34
8	41,55	40,47	0,63
10	27,84	26,21	0,65
середнє значення	34,12	32,57	0,65

Таблиця 3

Значення точності визначення характеристик стисливості ґрунту

Глибина відбору, м	Точність визначення характеристик стисливості ґрунту, %		
	стандартний метод		метод узагальнення результатів
	m_0	$m_v = m_0 / (1 + e_0)$	A_{p1}
2	14,11	12,58	0,42
4	14,23	12,62	0,28
6	16,92	17,81	0,14
8	16,96	16,52	0,26
10	11,37	10,7	0,26
середнє значення	14,72	14,05	0,27

Таким чином, можна констатувати, що середній коефіцієнт варіації коефіцієнта відносної стисливості m_v чи модуля деформації E для легкого пілуватого суглинку, знаходиться в межах 33%, що відповідає точності визначення 14%, а середній коефіцієнт варіації коефіцієнта відносної зміни пористості при його стисканні A_{p1} склав лише близько 1%, що відповідає точності визначення до 0,5%, котре значно вище оцінки стисливості ґрунтової основи модулем деформації E за стандартними методами [6, 14].

Тому за результатами порівняльного аналізу похибок вимірів характеристик стисливості, отриманих за даними компресійних випробувань легких пілуватих суглинків можливо зробити **висновки** про те, що недоліки стандартних деформаційних характеристик ґрунту та методики обробки результатів компресійних випробувань значно знижують точність оцінювання стисливості ґрунтової основи.

Запропонований коефіцієнт відносної зміни пористості ґрунту при його стисканні A_{p1} виключає вплив природного розкиду пористості зразків ґрунту на його деформаційні характеристики. Вираження стисливості ґрунтової основи через коефіцієнт відносної зміни пористості при його стисканні A_{p1} суттєво підвищує достовірність отриманих величин деформаційної характеристики ґрунту.

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення проектування – К.: Мінрегіонбуд України. – 2009. – 107 с. 2. Schuppener, V. Eurocode 7 for geotechnical design – a model code for non-EU countries? / V. Schuppener, A.J. Bond, P. Day // Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, 2009. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press. – 2009. – P. 1132 – 1135. 3. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги» – 2012. – 196 с. 4. Крутов, В.И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев – М.: ACB, 2012. – 560 с. 5. Interaction of the artificial bases with Collapsing Soils / V. Shokarev, V. Shapoval, A. Tregub, V. Grechko, A. Shokarev, A. Serdyuk, G. Rozenvasser, M. Kornienko, E. Petrenko, N. Zotsenko, Y. Vynnykov // Geotechnical Engineering in Urban Environments. – Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). – Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. – P. 481 – 486. 6. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності. – К.: Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 1997. – 101 с. 7. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса: монография / Г.Г. Болдырев. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 696 с. 8. Корниенко, Н.В. О неоднородности лессовых грунтов в пределах одного образца / Н.В. Корниенко, В.Е. Киреев // Основания и фундаменты. – К.: Будівельник, 1981. – Вып. 14. – С. 40 – 42. 9. Пристрій для визначення характеристик деформованості ґрунтів в умовах одновісного стиску // Винников Ю.Л., Косточка Н.А. Патент на корисну модель № 56732. E02D 1/02 (2011.01) G01B 5/30 (2011.01). Реєстраційний номер заявки у 2010 08311. Дата подання 05.07.2010. Дата, з якої є чинними права на корисну модель 25.01.2011, Бюл. № 2, 2011 р. 10. Тугаенко, Ю.Ф. Модуль деформації в механіці ґрунтів, методи його визначення і їх достовірність / Ю.Ф. Тугаенко // Вісник Одеської держ. акад. буд - ва та арх. – ри. Основи та фундаменти. – Одеса, 2009. – Вып. 34. – С. 538 – 545. 11. Винников, Ю.Л. Проблеми визначення модуля деформації замкнених лесоподібних ґрунтів / Ю.Л. Винников // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вып. 3 (28). – Полтава: ПНТУ, 2010.– С. 62 – 68. 12. Вялов, С.С. Реология мерзлых грунтов / С.С. Вялов. – М.: Стройиздат, 2000. – 464 с. 13. Юдин, А.В. Вопросы расчета гидросооружений оросительных систем по их совместным деформациям с просадочными основаниями: Автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук: 05.23.07 та 05.23.02 / М.: МГМИ., 1987. – 22 с. 14. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.