

ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ

¹Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Проаналізовано методику визначення стисливості. Для підвищення достовірності оцінювання стисливості ґрунту запропоновано використовувати відносне зменшення коефіцієнта пористості ґрунту після його стиснення.

Ключові слова: модуль деформації, стисливість, пористість, показник стиснення ґрунту.

Вступ

Модуль деформації E є головною характеристикою ґрунту в розрахунку сумісної деформації осідання ґрунтової основи та фундаментів будівель і споруд [1]. Від точності визначення модуля деформації залежить достовірність прогнозу осідання, а отже й розміри та вартість фундаментів, що проектуються.

К. Терцагі та М. Герсеванов підкреслювали, що методи розрахунку осідання в класичній механіці ґрунтів не дозволяють оцінювати деформації ґрунтової основи з достатньою достовірністю. У низці досліджень виявлено причини недостатньої достовірності та розроблені способи підвищення точності визначення модуля деформації ґрунтів [2—6]. Переважно ці методи зводяться до застосування методів математичної статистики чи до введення коригуючих коефіцієнтів [7, 8].

У сучасній геотехнічній практиці модуль деформації визначають у більшості випадків інтерпретацією результатів лабораторних випробувань зразків ґрунту природної структури у компресійних пристроях [9, 10]. У свою чергу, компресійні прилади мають низку недоліків, зокрема, неможливість одночасного забезпечення створення природного (від власної ваги ґрунту) й додаткового (від будівлі) тиску на ґрунт, відсутність змоги до бічного розширення ґрунту в кільці, а також суттєві сили тертя зразка за внутрішніми стінками кільця, що виникають при стисненні ґрунту, зменшуючи на 10...50 % вертикальний тиск, прикладений до зразка під час випробування [5—6, 11].

Звідси *мета досліджень* — проаналізувати причини невисокої точності визначення модуля деформації та запропонувати шляхи підвищення достовірності прогнозування стисливості ґрунтової основи.

Виклад основного матеріалу дослідження

На низьку достовірність визначення модуля деформації ґрунту E за результатами компресійних випробувань може впливати низька точність лабораторних дослідів і недосконалі методика обробки їх даних. Для вирішення першого питання проаналізовано результати 350 компресійних випробувань легких пілуватих суглинків лесового походження. Зразки відібрано у діапазоні глибин від 2 до 10 м. Результати визначення похибок вимірювань при компресійних випробуваннях зразків ґрунту подано в табл. 1.

Таблиця 1

Середні значення похибок вимірювань фізичних характеристик при компресійних випробуваннях

№ п/п	Найменування фізичних характеристик ґрунту	Одиниця вимірювання	Середнє значення	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %
1	Щільність ґрунту	г/см ³	1,63	0,01	0,64
2	Щільність сухого ґрунту	г/см ³	1,43	0,01	0,71
3	Вологість ґрунту	д. о.	0,139	0,001	0,55
4	Початковий коефіцієнт пористості	д. о.	0,888	0,017	2,13
5	Коефіцієнт пористості при компресійних випробуваннях	д. о.	0,841	0,018	2,19

З даних табл. 1 видно, що середні значення відносних похибок визначення щільності ρ й вологості w ґрунту не перевищують 1 %, а початкового коефіцієнта пористості e_0 — 2 %. Отже, точність визначення фізичних характеристик ґрунту висока й не може бути причиною недостатньої достовірності розрахунку деформаційних властивостей ґрунту.

Розглянемо методику визначення модуля деформації ґрунту E . З формули (1) розрахунку модуля деформації E випливає, що його величина залежить від коефіцієнта стисливості m_0 , безрозмірного коефіцієнта β та початкового коефіцієнта пористості ґрунту e_0 , за яким він визначається

$$E = \beta \frac{1 + e_0}{m_0}. \quad (1)$$

Відомо [1], що коефіцієнт стисливості дорівнює тангенсу кута нахилу компресійної кривої в інтервалі тиску P , наприклад від 0,1 до 0,2 МПа. Чим більше стисливість ґрунту, тим більші кут нахилу компресійної кривої α та величина коефіцієнта стисливості m_0 . Відповідно ґрунт з більшою стисливістю має менше значення модуля деформації E . Такий підхід правомірний при однаковій закономірності стисливості ґрунту, що відображається у вигляді компресійних кривих $e = f(P)$ (рис. 1).

Тепер проаналізуємо визначення модуля деформації E за зразками лесового ґрунту з однаковою початковою пористістю e_0 природної вологості та у водонасиченому стані. В процесі компресійного випробування ґрунту природної вологості зі значною структурною міцністю стискання ґрунту поступово підвищується зі збільшенням тиску. У разі випробування того ж ґрунту у водонасиченому стані великі деформації ґрунту відбуваються вже за малого тиску. Тому компресійні криві одного й того ж ґрунту за неоднакової вологості мають різні форми (рис. 2).

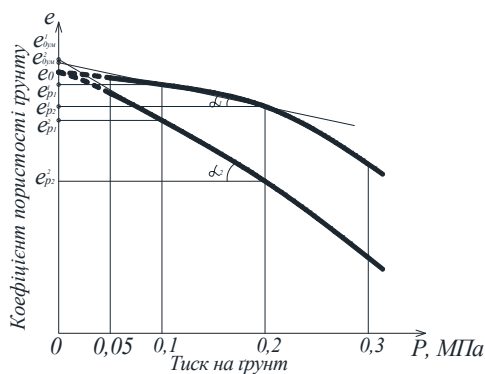


Рис. 1. Компресійні криві випробувань ґрунту з різними кутами α

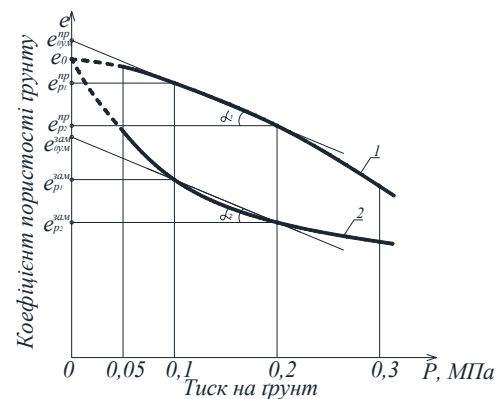


Рис. 2. Компресійні криві випробувань ґрунту з однаковими кутами α :

- 1 — для ґрунту природної структури;
- 2 — для того ж ґрунту в замкломому стані

Логічно, що водонасичений ґрунт в одному інтервалі тиску буде деформуватися на більшу величину, що, зокрема, видно з рис. 2. Однак можливі випадки, коли кути нахилу в інтервалі тисків 0,1...0,2 МПа для двох компресійних кривих будуть близькі між собою, наприклад $\alpha_1 = \alpha_2$. У цьому разі коефіцієнти стисливості також будуть рівними, тобто $m_1 = m_2$.

Навіть, якщо за початковий коефіцієнт пористості ґрунту e_0 прийняти умовний початковий коефіцієнт пористості [11], величини модуля деформації ґрунту для обох зразків будуть близькі $E_1 = E_2$. Величини осідання ґрунтових основ, котрі розраховують за цими модулями деформації, будуть також близькі між собою, що не відображає дійсності.

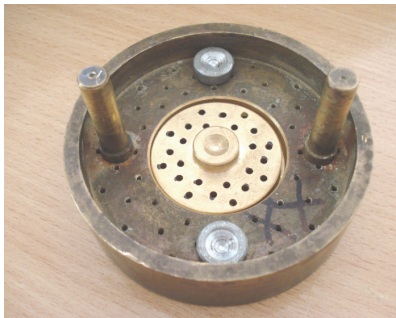
Отже, модуль деформації E , визначений за нормативною методикою [1], характеризує стисливість ґрунту в інтервалі тиску без прив'язки до його фактичного деформування від його початкового стану, тобто «попередньої історії навантаження на стиснення». Це є головною причиною невисокої достовірності загальноприйнятої характеристики стисливості — модуля деформації ґрунту E .

Крім того, його залежність від коефіцієнта β також вносить деяку похибку. Подібні похибки визначень деформаційних властивостей ґрунтів проаналізовано для 150 зразків ґрунту за їх компресійними випробуваннями та зведено в табл. 2.

Похибки вимірювань параметрів стисливості ґрунту

Глибина відбору, м	Похибки вимірювань					
	Коефіцієнт стисливості, m_0		Відносний коефіцієнт стисливості, m_v		Модуль деформації, E	
	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	0,0011	3,8	0,00075	4,7	7,2	18,2
4	0,0011	3,2	0,00075	4,1	6,0	17,6
6	0,0011	6,0	0,00069	6,9	14,4	20,4
8	0,0011	6,7	0,00068	7,6	14,7	21,1
10	0,0011	4,5	0,00073	5,4	8,8	18,9
Середні значення похибок	0,0011	4,8	0,00072	5,7	10,2	19,2

Похибка визначення модуля деформації ґрунту, викликана похибкою коефіцієнта β , досягає 20 %. Для досягнення більшої достовірності визначення стисливості ґрунту доцільно лабораторні випробування проводити на пристрої ПолтНТУ [12]. Завдяки можливості стискання зразка ґрунту одночасно, як від побутового (природного), так і від додаткового тиску з можливістю його бічного розширення виключається тертя зразка ґрунту за внутрішніми стінками кільця внаслідок поділу жорсткого, перфорованого, круглого в плані штамп на дві окремі частини — внутрішню, круглу та зовнішню, що має форму кільця (рис. 3). Визначення стисливості ґрунту на пристрої ПолтНТУ дозволяє підвищити достовірність параметрів стисливості ґрунту.



а)



б)

Рис. 3. Удосконалений компресійний пристрій ПолтНТУ:

а — вигляд штамп для компресійних випробувань; б — вигляд пристрою в робочому стані

Стискання зразка відбувається за рахунок зменшення пористості ґрунту від початкового коефіцієнта пористості e_0 до коефіцієнта пористості e_p за певного тиску P [1]. Тому є сенс для оцінювання стисливості ґрунту ввести новий параметр — відносну зміну коефіцієнта пористості

$$N_{pw} = \frac{e_0 - e_p}{e_0} \cdot 100 \% = \frac{\Delta e_p}{e_0} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де N_{pw} — показник стискання ґрунту певної вологості W ґрунту від тиску P ; Δe — зменшення коефіцієнта пористості ґрунту після дії тиском P .

Найдоцільніше визначати показник стискання ґрунту N_{pw} у відсотках. Тоді показник стискання N_{pw} відображає відсоткове відносне зменшення коефіцієнта пористості ґрунту під тиском P і може використовуватись як об'єктивніша характеристика стисливості ґрунту.

Для відбраковування некоректних дослідних даних будуюмо графіки $\Delta e_p = f(e_0)$ (рис. 4). Випробування кожного зразка ґрунту відображено на графіку точкою. Через ці точки проводять осереднювальну пряму. Точки, що не відповідають статистичним критеріям [7], — відбраковують.

За результатами випробувань n зразків, які залишилися після відбракування, визначаємо показники стискання кожного зразка N_{pw}^i . Показник стискання ґрунтової основи визначається як середня величина N_{pw}^i за формулою

$$N_{pw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{pw}^i \quad (3)$$

За величинами показників стиснення ґрунту N_{pw} , розрахованих за різних значень тиску P , будують криві відносної стисливості ґрунту за певної вологості W .

На графіку (рис. 5) показано криві показника стиснення ґрунту за природної вологості N_{pw}^{np} й у водонасиченому стані $N_{pw}^{зам}$, за даними рис. 2.

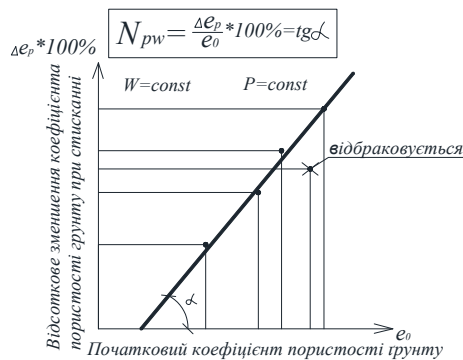


Рис. 4. Графік визначення показника стиснення ґрунту N_{pw} за однакових тисків P та вологості W

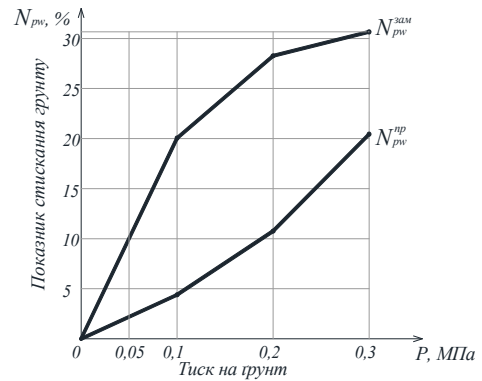


Рис. 5. Криві показників стиснення ґрунту за природної вологості N_{pw}^{np} й у водонасиченому стані $N_{pw}^{зам}$

Висновки

Таким чином, показник стиснення ґрунту N_{pw} коректніше характеризує деформаційні властивості ґрунтової основи за певних значень тиску, котрий змінюються за глибиною стисливої товщі під фундаментом, з урахуванням впливу пористості ґрунту на величину його стисливості, що підвищує точність прогнозу сумісного осідання фундаментів і основи.

СПИСОК ВИКОРАСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності. — К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 1997. — 101 с.
2. Тугаєнко Ю. Ф. Модуль деформації в механіці ґрунтів, методи його визначення та його достовірність / Ю. Ф. Тугаєнко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Основи та фундаменти. — Одеса, 2009. — Вип. 34. — С. 538—545.
3. Горбунов-Посадов М. И. Определение значения модуля деформации по величине простейших ґрунтових характеристик / М. И. Горбунов-Посадов, С. И. Синельников // Основания и фундаменти: науч.-техн. бюл. НИИОСП. — М., 1958. — № 21. — С. 46—49.
4. Болдырев Г. Г. Методи визначення механічних властивостей ґрунтів. Состояние вопроса: моногр. / Г. Г. Болдырев. — Пенза: ПГУАС, 2008. — 696 с.
5. Винников Ю. Л. Проблеми визначення модуля деформації замкнених лесоподібних ґрунтів / Ю. Л. Винников // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. — Полтава: ПНТУ. — 2010. — Вип. 3 (28). — С. 62—68.
6. Корнієнко М. В. Комплексна оцінка визначення модуля деформації ґрунту польовими та лабораторними методами / М. В. Корнієнко, О. В. Язвінський // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. — К.: НДІБК, 2013. — Вип. 79. — С. 72—79.
7. ДСТУ Б В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96). Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. — К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 1996. — 14 с.
8. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). — М.: Стройиздат, 1986. — 415 с.
9. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: підруч. / [В. Б. Швець, І. П. Бойко, Ю. Л. Винников, М. Л. Зоценко та ін.]. — Дніпропетровськ: Пороги. — 2012. — 196 с.
10. Mechi J. Geotechnical Engineering Examples and Solutions Using the Cavity Expanding Theory / J. Mechi. — Budapest: Hungarian Geotechnical Society. — 2013. — 221 p.
11. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підруч. / [М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев та ін.]. — Полтава: ПолтНТУ, 2004. — 568 с.

12. Патент на корисну модель № 56732. E02D 1/02 (2011.01) G01B 5/30 (2011.01). Пристрій для визначення характеристик деформованості ґрунтів в умовах одновісного стиску / Винников Ю. Л., Косточка Н. А. — Реєстраційний номер заявки u 2010 08311. Дата подання 05.07.2010. Дата, з якої є чинними права на корисну модель, 25.01.2011, Бюл. № 2, 2011 р.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 14.01.2014

Косточка Наталія Аркадіївна — аспірант кафедри видобування нафти і газу та геотехніки, e-mail: marsel_kot@mail.ru.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

N. A. Kostochka¹

Improving the reliability of predicting the compressibility of soil base

¹Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

Methodologies of determination of compressibility are analyzed in the paper. Relative reduction of coefficient of porosity of soil after its compression is offered to use for the increase of authenticity of evaluation of compressibility of soil.

Keywords: deformation modulus, compressibility, porosity, soil compression index.

Kostochka Natalia A. — Post-Graduate Student of the Chair of Extraction of Oil and Gas and Geotechnic, e-mail: mar-sel_kot@mail.ru

Н. А. Косточка¹

Повышение достоверности прогнозирования сжимаемости грунтового основания

¹Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Проанализированы методики определения сжимаемости. Для повышения достоверности оценки сжимаемости грунта предложено использовать относительное уменьшение коэффициента пористости грунта после его сжатия.

Ключевые слова: модуль деформации, сжимаемость, пористость, показатель сжатия грунтов.

Косточка Наталья Аркадиевна — аспірант кафедри добычи нафти и газа и геотехники, e-mail: marsel_kot@mail.ru