

## СПІВВІДНОШЕННЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ І МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ҐРУНТІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ОСІДАНЬ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В даний час різні методи враховують деформації під час розвантаження. Багато сучасних моделей, що використовуються в програмних системах, застосовують різні характеристики деформації при навантаженні та розвантаженні.

Активний розвиток підземного простору свідчить про важливість врахування ґрунтової основи в області розвантаження і вторинного навантаження. Чинними нормами рекомендується при відсутності дослідних даних приймати модуль деформації при вторинному навантаженні у п'ять разів більше за модуль деформації при первинному навантаженні.

Актуальною є задача диференціації співвідношення модуля деформації при вторинному навантаженні і модуля деформації при первинному навантаженні в залежності від виду ґрунту та інших факторів.

У роботі доводиться актуальність проблеми та поставлені задачі подальших досліджень.

**Ключові слова:** ґрунт, осідання, модуль деформації, модуль пружності, випробування ґрунтів.

### Abstract

Currently, various methods take into account the deformations during unloading. Many modern models used in software systems use different characteristics of deformation during loading and unloading.

The active development of underground space indicates the importance of taking into account the soil base in the field of unloading and secondary loading. The current regulations recommend that in the absence of experimental data, the modulus of deformation at the secondary load is five times greater than the modulus of deformation at the primary load.

The problem of differentiation of the ratio of the modulus of deformation at secondary loading and the modulus of deformation at primary loading depending on the type of soil and other factors is urgent.

The paper proves the urgency of the problem and the tasks of further research.

**Keywords:** soil, sedimentation, deformation modulus, elasticity modulus, soil testing.

### Вступ

Більшість рішень механіки ґрунтів ґрунтуються на припущенні одноразового навантаження ґрунту, при якому відбуваються пружні та пластичні деформації [1, 2]. Таким чином, активний розвиток підземного простору свідчить про важливість врахування ґрунтової основи в області розвантаження/перевантаження. При зведенні будівель у глибоких котлованах фундамент розвантажується, досягаючи сотень кПа, а в окремих випадках (підземні паркінги без наземних частин, тунелів, наземної міської залізниці) вага конструкції не досягає ваги викопаного ґрунту витягнутого з котловану. У цьому випадку деформації розвантаження, розраховані за постійним модулем деформації, стають надзвичайно великими.

Хоча ґрунт є пружно-пластичним тілом з переважно пластичними деформаціями, розвантажувальні деформації можуть відігравати значну роль, особливо при будівництві тунелів з великою глибиною закладання.

### Основна частина

Різні фізико-механічні природи пружності, як властивості матеріалу, що частково відновлює форму та об'єм при знятті напружень, у скельних та дисперсних ґрунтах визначають значну залежність пружних характеристик дисперсних ґрунтів від виду напруженого стану, досягнутого рівня деформацій та ступеня наближення до граничного стану.

В даний час різні методи враховують деформації під час розвантаження. У роботі [3] при розрахунку осідання використовується модуль деформації при розвантаженні  $E_{e,i}$ , який визначається

експериментально, або, за відсутності експериментальних даних, виходить еквівалентний  $5E_i$ . Цей підхід дозволяє уникнути завищення розрахункових деформацій розвантаження у глибоких котлованах. При цьому в чинних нормативних документах [4] немає рекомендацій з експериментального визначення цього параметра в дисперсних ґрунтах. Більш того, для скельних [4] та напівскельних ґрунтів [4] дано прямі вказівки щодо діапазону напружень, в якому обов'язково обчислюється модуль пружності.

Багато сучасних моделей, що використовуються в програмних системах, застосовують різні характеристики деформації при навантаженні та розвантаженні. При цьому для первинного навантаження нелінійність розвитку деформації змінюється на основі гіперболічного закону [5] у твердих ґрунтах [6] або логарифмічного закону в м'яких ґрунтах [7-9]; Для розвантаження застосовуються залежності лінійно-пружної моделі Гука. У моделі ґрунту, що зміцнюється, також використовується залежність модуля розвантаження  $E_{ur}$  від фактичної середньої ефективної напруги  $p'$ . Крім того, модель малої деформації твердіння ґрунту є однією з кількох моделей, що описують нелінійність деформації під час розвантаження та перевантаження; проте форма і нахил графіку розвантаження не залежать від ступеня наближення до порогового стану [10, 11]. Ситуація ускладнюється також відсутністю авторських рекомендацій щодо визначення параметрів цих моделей.

В одній з робіт [6] параметри ґрунту, що зміцнюється, були визначені для пристінного піску. У цьому дослідженні автори встановили взаємозв'язок між модулями розвантаження та повторного навантаження з модулем при нарузі 50% міцності наступним чином:

$$E_{ur} = 3E_{50} \quad (1)$$

Це співвідношення зберігається для модулів деформації піску різної щільності [12]. Більшість користувачів програмних комплексів, сприймають це співвідношення, як єдине можливе і вже використовують його для всіх типів та різновидів дисперсних ґрунтів; така практика, безумовно, є хибною.

Експериментальні дані показують, що у дисперсних ґрунтах, модуль деформації розвантаження залежить від ступеня наближення до граничного стану. Для відносно малих деформацій модулі деформації розвантаження значно вище, ніж для відповідних порогових деформацій опору зсуву. У сучасних моделях, цей факт не враховується.

Отже, на теперішній час відсутні чіткі рекомендації щодо теоретичного визначення співвідношення модуля деформації при вторинному навантаженні і модуля деформації при первинному навантаженні. Одним з варіантів розв'язання цієї задачі є проведення значної кількості дослідного визначення обох модулів з подальшою статистичною обробкою результатів.

Пропонується провести експерименти, що підтвердять залежність модуля деформації розвантаження від обраної точки розвантаження, виду ґрунту та інших параметрів.

Як результат планується надати практичні рекомендації щодо визначення співвідношення  $E_r/E$ . Ці рекомендації можуть бути враховані при проектуванні заглиблених споруд та у разі внесення змін до нормативних документів.

### Висновки

1. Актуальною є задача диференціації співвідношення модуля деформації при вторинному навантаженні і модуля деформації при первинному навантаженні в залежності від виду ґрунту та інших факторів.

2. На підставі проведення численних експериментальних досліджень планується надати практичні рекомендації щодо визначення співвідношення  $E_r/E$ .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Н.А.Цитович, Механіка ґрунтів, висша школа, Москва (1983). 113 с.
2. K. Terzaghi, Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, London (1943). 526 с.
3. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 161 с..
4. ДСТУ Б.В.2.1-7-2000 (ГОСТ 20276-99). ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і деформативності. [Чинний від 2001-03-01]. Вид. офіц. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2001. 81 с. (Основи та підвалини будинків і споруд).
5. J. M. Duncan, C. Y. Chang, "Nonlinear analysis of stress and strain in soil," Soil Mech. Found. Div., Am. Soc. Civ. Eng., No. 5(96), 1629-1653 (1970).
6. T. Schanz, P. A. Vermeer, and P. G. Bonnier, The Hardening-Soil Model: Formulation and Verification, Rotterdam: Brinkgreve R.B.J. (1999). 16 с.

7. L. Bjerrum, "Engineering geology of Norwegian normally-consolidated marine clays as related to settlements of buildings," *Geotechnique*, No. 17, 81-118 (1967).
8. J. B. Burland, "The yielding and dilation of clay," *Geotechnique*, No. 15, 211-214 (1965).
9. J. B. Burland, "On the compressibility and shear strength of natural clays," *Geotechnique*, No. 3 (40), 329-378 (1990).
10. T. Benz, *Small-Strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences*, IGS, Stuttgart (2007).
11. C. R. I. Clayton, "Stiffness at small strain: research and practice," *Geotechnique*, No. 1 (61), 5-37 (2011).
12. RBJ Brinkgreve, E. Engin, and WM Swolfs, *Plaxis 3D. Посібник користувача*, НІІ-Інформатика, СПб (2011).

**Граніч Юрій Миколайович** – магістрант, група В-21м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [1b17b.granich.yura@gmail.com](mailto:1b17b.granich.yura@gmail.com)

**Hranich Yura**- undergraduate, group В-21m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. e-mail: [irina.mayevskaja@gmail.com](mailto:irina.mayevskaja@gmail.com) [maevska@vntu.edu.ua](mailto:maevska@vntu.edu.ua)

**Maievska Iryna** - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.