

Порівняння інтерпретацій даних, отриманих за допомогою СРТu та DMT: особливості вимірювань, розбіжності розрахункових параметрів

Костянтин Бондарев, аспірант¹ (ORCID: 0009-0007-2305-6508),
Вероніка Жук, канд. техн. наук, доц.¹ (ORCID: 0000-0002-1114-3192)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі представлено порівняльний аналіз результатів статичного зондування з вимірюванням порового тиску (СРТu) та випробувань дилатометром Маркетті (DMT), проведених на різномісних ґрунтах. Розглянуто особливості методик вимірювань і фактори, що впливають на точність отриманих параметрів: проникнення конуса, відгук порового тиску, дилатометричний модуль деформації та індекси відносної щільності. Виявлено ключові відмінності у визначенні геотехнічних характеристик, таких як коефіцієнт прекосолідації, модуль стисливості, недренована міцність на зсув. Особливу увагу приділено розбіжностям у розрахункових параметрах, спричинених різними фізичними принципами роботи приладів та неоднорідністю ґрунтових шарів. Отримані результати дають змогу уточнити алгоритми інтерпретації даних та підвищити достовірність геотехнічних розрахунків при проектуванні фундаментів і споруд.

Ключові слова: СРТu, DMT, геотехнічні дослідження, порівняння методів, коефіцієнт прекосолідації, модуль стисливості, недренована міцність на зсув, розбіжності параметрів.

ВСТУП

Використання високоточних польових методик (СРТu та DMT) у сучасній геотехнічній практиці забезпечує оперативне отримання розрахункових характеристик ґрунту; проте інтерпретація їхніх результатів потребує всебічного порівняльного аналізу через різну фізику впливу і частоту вимірів обох методик.

МЕТОДИКА СТАТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ СРТu ТА ДИЛАТОМЕТРИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ DMT

Статичне зондування СРТu

Суть цього методу полягає у поступовому зануренні конусного пенетрометра в ґрунт із кроком 2 см. Спеціалізований зонд (рис. 1) обладнаний конусом, фрикційною втулкою та п'єзометром, що дає змогу одночасно фіксувати опір під конусом (q_c), бічне тертя (f_s), поровий тиск (u_2), глибину та кут нахилу зонда. Усі дані передаються в режимі реального часу, що забезпечує безперервний профіль характеристик ґрунту по глибині. Всього за одне випробування отримують п'ять ключових параметрів [1], які далі інтерпретуються через систему емпіричних залежностей.



Рисунок 1. Зонд СРТu

Дилатометричне випробування DMT

Тут використовується сталева лопатка з гнучкою мембраною (рис. 2), яку розширюють на 1,1 мм за допомогою стисненого газу. Під час цього процесу фіксуються три значення тиску: до розширення (P_0), під час розширення (P_1) та після стабілізації (P_2). Занурення виконується кроками по 20 см, що формує серію вимірювань на різних глибинах. У результаті за один тест отримують чотири основні показники [2], які дозволяють оцінити міцність і деформативність ґрунту.

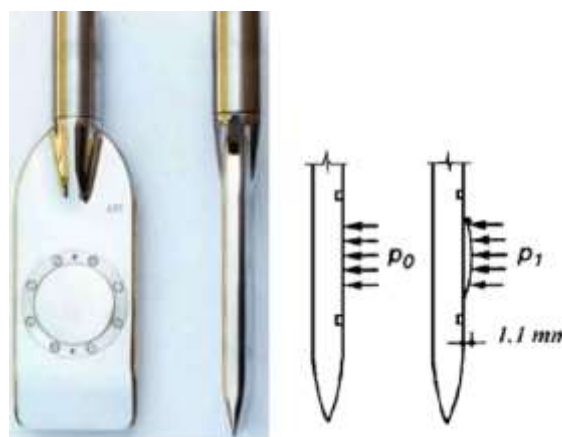


Рисунок 2. Лопатка DMT

ОБРОБКА ТА ПОРІВНЯННЯ ДАНИХ

Важливим етапом як для СРТu, так і для DMT є подальша інтерпретація. Завдяки інтерпретації обидва методи дають змогу визначити тип ґрунту, його міцність,

стисливість, модуль деформації, коефіцієнти жорсткості й інші важливі інженерно-геологічні параметри [3].

Для порівняння отриманих параметрів ґрунтів використовували дані вимірювань, взятих з реального об'єкту. 6 свердловин розташованих на одній ділянці. Випробування проводили для зв'язних ґрунтів "пилуваті піски - суглинки, супіски" та для "органічних ґрунтів і глини". Глибина від -9.20 м до 0.00 м. Для порівняння було обрано 3 параметри ґрунту: коефіцієнт прекозсолідації OCR, модуль стисливості M , недренована міцність на зсув su . Виділили 4 основних типи ґрунтів: пісок, суглинки/супіски, глина, органічна глина.

РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯНЬ

Коефіцієнт прекозсолідації OCR:

- для суглинків/супісків при інтерпретації даних CPTu в середньому в 2.1 рази більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT;

- для глини в переважній більшості OCR при інтерпретації даних CPTu більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT. Орієнтовно на 32%, але є випадки де результати інтерпретації співпадають або мають дуже близьке значення.

- для органічних ґрунтів при інтерпретації даних CPTu в середньому на 14% більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT.

Модуль стисливості M :

- для пісків при інтерпретації даних CPTu в середньому в 2.8 рази більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT;

- для суглинків/супісків при інтерпретації даних CPTu в середньому в 2.5 рази більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT;

- для глини при інтерпретації даних CPTu в середньому в 2.07 рази більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT;

- для органічних глини при інтерпретації даних CPTu в середньому в 2.12 рази більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT.

В середньому для всіх типів ґрунтів, модуль стисливості отриманий за даними CPTu в 2-3 рази більший ніж виміряний дилатометром.

Недренована міцність на зсув su :

- для суглинків/супісків при інтерпретації даних CPTu в середньому в 2.58 рази більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT;

- для глини при інтерпретації даних CPTu в середньому на 67% більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT;

- для органічних глини при інтерпретації даних CPTu в середньому на 50% більший в порівнянні з інтерпретацією даних DMT.

Недренована міцність на зсув визначається тільки для зв'язних ґрунтів..

де P , P_0 – є поточним і початковим тиском стиснення.

Методи CPTu та DMT демонструють відмінності як у техніці проведення досліджень, так і у характері результатів. CPTu забезпечує високу вертикальну роздільну здатність (крок вимірювань 2 см), що дозволяє детально фіксувати локальні неоднорідності та слабкі прошарки, проте це часто проявляється у вигляді різких стрибків на графіках і потребує додаткової фільтрації або статистичної

обробки даних. Натомість DMT із кроком 20 см формує більш усереднені й плавні криві, особливо у слабких та водонасичених ґрунтах, що може призводити до згладжування дрібномасштабних варіацій.

Порівняння ключових геотехнічних параметрів — таких як коефіцієнт перенавантаження (OCR), дилатометричний модуль деформації (M) та недренований зсувний опір (su) — виявило суттєві розбіжності між методами, які у ряді випадків сягають 2–3 разів і більше. Такі відмінності свідчать про потенційний ризик похибок при використанні лише одного методу для визначення характеристик ґрунтів.

Оптимальним підходом є комбіноване застосування CPTu та DMT із взаємним калібруванням емпіричних кореляцій, що дозволяє суттєво підвищити достовірність оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтових масивів. Використання інтегрованих даних цих методів забезпечує більш реалістичне моделювання взаємодії основ і фундаментів, зменшення інженерних ризиків та оптимізацію конструктивних рішень у проектуванні. Додатково рекомендовано застосовувати порівняльний аналіз даних CPTu та DMT як засіб контролю якості ґрунтових моделей при розрахунках складних геотехнічних об'єктів.

ВИСНОВКИ

Методи CPTu та DMT відрізняються як за технікою проведення, так і за характером результатів: CPTu забезпечує високу деталізацію вимірювань (крок 2 см), що дозволяє фіксувати локальні неоднорідності, але часто проявляється у вигляді різких стрибків на графіках; натомість DMT із кроком 20 см формує більш усереднені та плавні криві, особливо у слабких ґрунтах. Порівняння ключових параметрів (OCR, M , su) показало суттєві відмінності між методами — у 2–3 рази і більше, що свідчить про ризик похибок при застосуванні лише одного з них. Оптимальним підходом є комбіноване використання CPTu і DMT з калібруванням емпіричних кореляцій, що дозволяє підвищити достовірність визначення характеристик ґрунтів, покращити моделювання взаємодії основ і фундаментів та оптимізувати інженерні рішення.

Список літератури

- [1] Robertson, P.K. (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. *Can. Geotech. J.* 46: 1337-1355. doi: 10.1139/T09-065
- [2] Robertson, P.K. & Cabal, K. (2022). Guide to cone penetration testing. 7th edition. *Gregg Drilling LLC*. 164 p. <https://www.cpt-robertson.com/PublicationsPDF/CPT-Guide-7th-Final-SMALL.pdf>
- [3] Grabar, K., Strelec, S., Špiranec, M., & Dodigović, F. (2022). CPT–DMT correlations on regional soils from Croatia. *Sensors*, 22(3), 934. <https://doi.org/10.3390/s22030934>