

**В.І. Коваленко, к.т.н., доцент, М.О. Харченко, к.т.н.,  
Ю.Л. Винников, д.т.н., професор, Р.Г. Савенко, д.т.н., професор,  
Т.В. Литвиненко, студентка, Я.В. Носаченко, студент**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

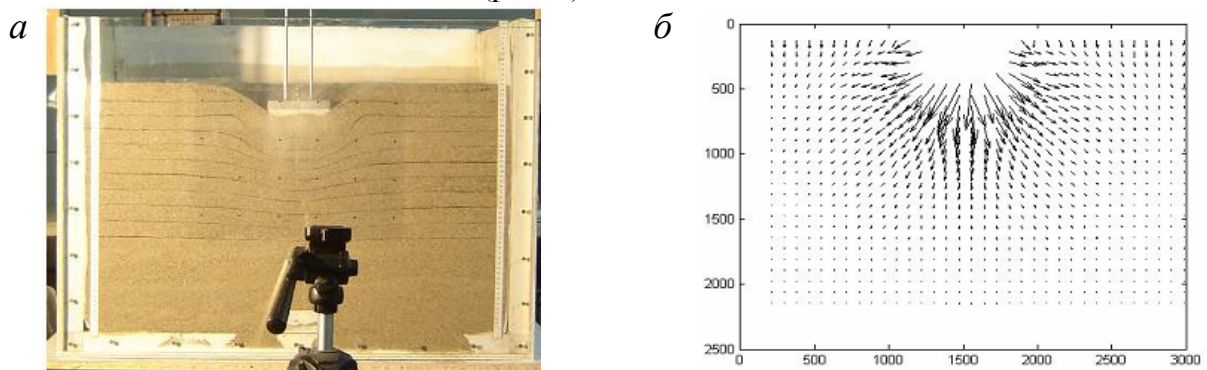
## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТІВ ДИНАМІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ**

*Наведено методичку і представлено результати випробовування ґрунтів динамічним навантаженням (динамічна penetрація). Такий підхід дозволяє підбирати ущільнювальні механізми та їх параметри і прогнозувати властивості ґрунту при динамічних впливах.*

**Ключові слова:** динамічна penetрація, опір ґрунту, робота удару.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Останнім часом для визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів широко застосовується метод статичної penetрації [1 – 3]. При цьому визначення розрахункового опору penetрації дозволяє контролювати якість ущільнення земляних споруд, прогнозувати розрахунковий опір основи і т.д. Однак вирішувати питання, пов'язані з дією на ґрунт динамічних навантажень (трамбування, циклічні навантаження, вібрація тощо), статична penetрація не дозволяє [4 – 15].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** З аналізу досліджень у галузі геотехніки можна зробити узагальнення, що методики дослідження властивостей ґрунтів постійно вдосконалюються. Одним із найбільш актуальних напрямів є визначення властивостей ґрунтів за допомогою penetрації. Також стрімко розвиваються технології зі створення штучних основ і земляних споруд (насипи, дамби тощо), особливо за рахунок ущільнення ґрунтів, у тому числі динамічним навантаженням (рис. 1) [5, 7 – 15].



*Рисунок 1 – Приклад поведінки ґрунту при динамічних впливах: а – фото ударного ущільнення ґрунту в лотку; б – напрямки і величина переміщення після ударного ущільнення*



*Рисунок 2 – Прилад для контролю якості ущільнення ґрунту*

Відомі португальські та німецькі прилади для нормування якості ущільнення ґрунту, принцип дії яких ґрунтується на динамічному прикладанні навантаження (рис. 2) [9]. Але цей метод має значні похибки, оскільки вимірює пружний модуль деформації ґрунту, а не його опір. Тому використання такого приладу доцільне лише паралельно з відбором зразків ґрунту і лабораторним їх дослідженням.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** У зв'язку з тим, що статична penetрація й відомі методи динамічного прикладання навантаження при випробовуваннях ґрунту не дозволяють достовірно вирішувати питання, пов'язані з дією на ґрунт динамічних впливів, запропоновано динамічний метод penetрації. У ньому для визначення властивостей ґрунтів теж використовується конічний наконечник, але при його зануренні у зразок ґрунту прикладається ударне навантаження, для створення якого вантаж необхідно скидати з певної висоти.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В існуючому методі динамічного зондування занурення конічного наконечника відбувається на глибину, що перевищує висоту конуса. При цьому площа максимального поперечного перерізу площини контакту конуса з ґрунтом залишається постійною. Тому на відміну від методу динамічного зондування метод динамічної penetрації передбачає, що конус занурюється ударним навантаженням на глибину, яка не перевищує висоти конуса, й площа максимального поперечного перерізу площини контакту конуса з ґрунтом змінюється після кожного удару.

Як приклад нижче розглянуто результати динамічної penetрації суглинку пластичного з використанням лабораторного приладу ЛП-1. На рис. 3 показано залежність між загальною роботою удару  $A$  та квадратом глибини занурення конуса  $h^2$ . Висота падіння і вага вантажу при наступних ударах не змінювались.

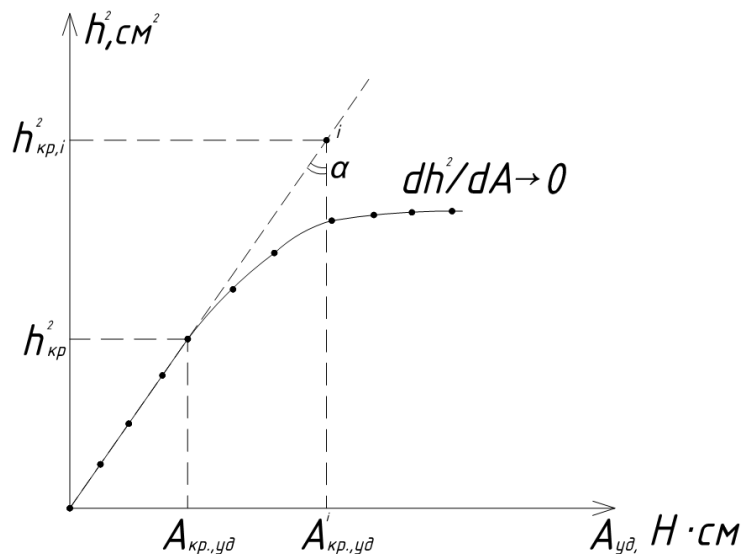


Рисунок 3 – Залежність між загальною роботою удару  $A_{уд}$  та квадратом глибини занурення конуса  $h^2$

З графіка (рис. 3) видно, що, починаючи з якогось критичного значення  $A_{кр,уд}$ , спостерігається суттєве зменшення величини занурення. Такий ефект пов'язаний з вичерпанням можливостей такого ударного навантаження за рахунок збільшення частки витрат енергії при повторних ударах на пружну деформацію ґрунту.

За характеристику динамічного опору penetрації можна прийняти розрахунковий опір динамічної penetрації  $R_{дин}$ , що дорівнює тангенсу кута нахилу графіка у межах його лінійної ділянки (1).

$$R_{дин} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{A_{уд}^i}{h_i^2}. \quad (1)$$

При збільшенні роботи одного удару критичне значення  $A_{кр.,уд}$ , що відповідає лінійній частині графіка, теж підвищується. На рис. 4 показано випробування зразків такого ж ґрунту при фіксованій початковій щільності скелета і вологості різними ударними навантаженнями (змінювалася вага вантажу й висота падіння).

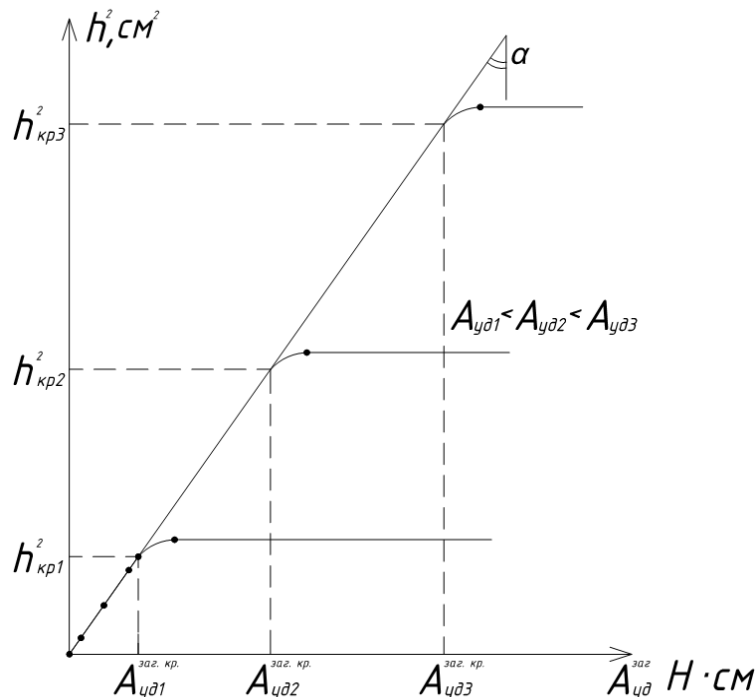


Рисунок 4 – Залежність квадрата глибини занурення конуса  $h^2$  від роботи удару  $A_{уд}$  при різних ударних імпульсах

З рис. 4 бачимо, що критичні значення квадрата глибини занурення конуса  $h^2_{кр}$  збільшуються зі збільшенням роботи одного удару (ударного імпульсу). При цьому тангенс кута нахилу  $\alpha$  лінії, побудованої за граничними значеннями лінійних ділянок для різних ударних імпульсів, залишається незмінним. Це означає, що розрахунковий опір динамічної penetрації  $R_{дин}$  не залежить від характеристик ударного навантаження. Отже, цей параметр  $R_{дин}$  залежить лише від властивостей ґрунту.

Таким чином, для визначення розрахункового опору  $R_{дин}$  достатньо замірити глибину занурення конуса  $h$  за один удар при будь-яких характеристиках висоти падіння і ваги вантажу. Для підвищення точності визначення  $R_{дин}$  дослід бажано повторити декілька разів при різних ударних імпульсах.

Те, що величина динамічного опору penetрації  $R_{дин}$  пропорційна квадрату глибини занурення конічного наконечника  $h^2$ , логічно пояснюється тим, що площа поперечного перетину конуса  $A$  на рівні його заглиблення в кінці удару пропорційна квадрату глибини занурення

$$A = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot (h \cdot \operatorname{tg} \beta)^2. \quad (2)$$

Таким чином, величина розрахункового опору динамічної penetрації  $R_{дин}$  залежить від кута нахилу утворюючої конуса  $\beta$ . При використанні конуса з кутом розкриття  $30^\circ = 2\beta$  ( $\beta = 15^\circ$ ). Випробування можна робити конусом з будь-яким кутом розкриття, а потім перейти до стандартного значення, що відповідає  $\beta = 15^\circ$ .

Для практичного використання запропонованого методу випробування можна вести у такій послідовності:

- 1) з досліджуваного ґрунту в лабораторних умовах готують зразки з різною щільністю скелета при декількох значеннях вологості;
- 2) виконують динамічну penetрацію і визначають розрахункові значення динамічного опору penetрації  $R_{дин}$ ;
- 3) будують номограму динамічної penetрації (рис. 5);

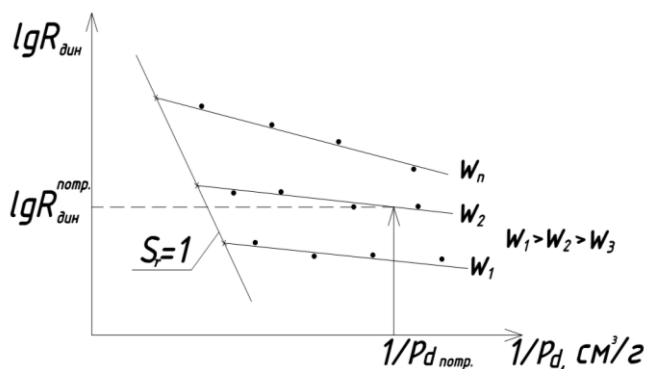


Рисунок 5 – Номограма динамічної penetрації

Безумовно, кожний вид динамічних навантажень (трамбування, вібрація, укочування котками і т.д.) має свої особливості, але всі вони мають характер, близький до динамічної penetрації.

Таким чином, для встановлення взаємозв'язку між конкретними видами динамічних впливів на ґрунт у виробничих і лабораторних умовах потрібне проведення паралельних випробувань ґрунтів у різних інженерно-геологічних умовах різними ущільнюючими механізмами в процесі динамічної penetрації.

**Висновки.** Випробовування ґрунтів зовнішнім динамічним навантаженням – зануренням кінцевого наконечника ударним навантаженням при різних ударних імпульсах, дозволяє отримати значення динамічного опору penetрації  $R_{дин}$  ґрунту. Цей параметр доцільно використовувати при виборі параметрів ущільнюючих механізмів, наприклад ваги і висоти падіння трамбівків, частоти й амплітуди вібраційних котків тощо. Визначення динамічного опору penetрації  $R_{дин}$  також дозволить прогнозувати поведінку ґрунту при динамічних впливах у процесі експлуатації земляних споруд.

#### Література

1. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / [М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев та ін.]. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
2. Разоренов, В.Ф. Пенетрационные испытания ґрунтов: (теория и практика применения) / В.Ф. Разоренов. – М.: Стройиздат, 1980. – 248 с.
3. Zotsenko, M. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods / M. Zotsenko, Y. Vynnykov, A. Yakovlev // Proc. of the XIV Danube – European Conf. on Geotechnical Engineering. – Bratislava, 2010. – P. 245 – 253.
4. Ampadu, S.I.K. Model tests for bearing capacity in a lateritic soil and implication for the use of the dynamic cone penetrometer / S.I.K. Ampadu, D. Dzitse-Awuku // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 332 – 335.
5. Hajialilue-Bonab, M. Soil deformation pattern in low-energy dynamic compaction / M. Hajialilue-Bonab, A.H. Rezaei // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 542 – 545.
6. An approach to evaluate internal friction from dynamic penetration tests / B.O. Lobo, F. Schnaid, M.M Rocha, E. Odebrecht // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 941 – 944.
7. Fortunato, E. In-situ characterization of an old railway platform with dynamic cone penetration / E. Fortunato, A. Pinelo, M.M. Fernandes // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 949 – 952.
8. Rito, F. Development and field application of static cone penetrometer combined with dynamic penetration / F. Rito, N. Sugavara // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 969 – 972.
9. Conde, M.C. Stiffness methods for compaction control: the P-FWD device / M.C. Conde, M.G. Lopes, L. Caldeira // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 1012 – 1015.

4) визначають потрібні в кінці ущільнення значення щільності скелета і вологості ґрунту, а також знаходять потрібний динамічний опір  $R_{дин,номп}$ ;

5) отримане значення потрібного динамічного опору використовують при виборі параметрів механізмів для ущільнення ґрунту.

10. Adam, D. Innovative dynamic compaction techniques and integrated compaction control methods / D. Adam, H. Brandl // Proc. of the 17th International Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, Egypt: JOS Press, 2009. – P. 2216 – 2219.
11. Arslan, H. Influence of tamper weight shape on dynamic compaction / H. Arslan, A.S. Alawneh, R. Rabadi // Ground improvement, 2007. – 11(2). – pp. 61 – 66.
12. Durgunoglu, H.T. A case study on soil improvement with heavy dynamic compaction / H.T. Durgunoglu, S. Varaksin // Proc. of the XIIIth European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Prague, 2003. – P. 651 – 657.
13. Ong, K. Dynamic compaction and dynamic replacement for large oil tank / K. Ong, K. Yee, L. Wong // Proc. of 16th Southeast Asian Geotechnical Conf. – Kuala Lumpur, 2006. – P. 591 – 595.
14. Pak, A. Behavior of dry and saturated soils under impact load during dynamic compaction / A. Pak, H. Shahir, A. Ghassemi // Proc. 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka, 2005. – P. 1245 – 1248.
15. Qingyan, T. Experimental Study of the Light Dynamic Penetration Method to Test Shallow Fill of Coarse-sand in Subsoil Engineering / T. Qingyan, F. Helin // Proc. of the 1st Intern. Symposium on Geotechnical Safety and Risk. – China: Shanghai, 2007. – P. 217 – 226.

Надійшла до редакції 15.12. 2011  
© В.І. Коваленко, М.О. Харченко,  
Ю.Л. Винников, Р.Г. Савенко  
Т.В. Литвиненко, Я.В. Носаченко

**В.И. Коваленко, к.т.н., доц., М.А. Харченко, к.т.н.  
Ю.Л. Винников, д.т.н., проф., Р.Г. Савенко, д.т.н., проф.  
Т.В. Литвиненко, студентка, Я.В. Носаченко, студент**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ**

*Приведена методика и представлены результаты испытаний грунтов динамической нагрузкой (динамическая пенетрация). Такой подход позволяет подобрать уплотнительные механизмы и их параметры, а также спрогнозировать свойства грунта при динамических влияниях.*

*Ключевые слова: динамическая пенетрация, сопротивление грунта, работа удара.*

**V.I. Kovalenko, Reader, Dr-Ing., M.O. Harchenko, Dr-Ing.  
Y.L. Vynnykov, Prof., DrSc., R.G. Savenko, Prof., DrSc.  
T.V. Lytvynenko, student, Y.V. Nosachenko, student**

*Poltava National Technical University named in honor of Yuri Kondratyuk*

## **DETERMINATION OF SOILS STRENGTH BY DINAMIC LOAD**

*The method and results of soils tests by dynamic load (dynamic penetration) are presented. This approach allows to select the compaction mechanisms and their parameters and to predict the properties of soil under dynamic influences.*

*Key words: dynamic penetration, soil strength, impact action.*