

## Метод визначення властивостей донних ґрунтів in-situ

Михайло Сукач<sup>1</sup>, Світлана Комоцька<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва та архітектури  
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>[msukach@ua.fm](mailto:msukach@ua.fm), orcid.org/0000-0003-0485-4073

<sup>2</sup>[svetlanakama@ukr.net](mailto:svetlanakama@ukr.net), orcid.org/0000-0001-8418-5302

Отримано 08.08.2018, прийнято до публікації 23.09.2018

DOI: 10.26884/uwt1808.1102

Розроблений в КНУБА метод гравітаційного зондування ґрунтів сферичним інденктором дозволяє визначати міцнісні характеристики донних відкладень у природному стані (in-situ). Встановлено аналітичні взаємозв'язки між в'язкістю, зчепленням, динамічною міцністю і ударними імпульсами гравітаційного зонда [1].

Алгоритм визначення цих параметрів полягає в наступному (Рис.1, 2). Вихідний графік гальмування вільно падаючого в ґрунт сферичного зонда двічі інтегрують одним із відомих способів, наприклад за формулою трапецій

$$S_i = k(W_i - W_{i-1})/2; \quad V_{i+1} = V_i + S_i \Delta;$$

$$X_{i+1} = X_i + V_i \Delta,$$

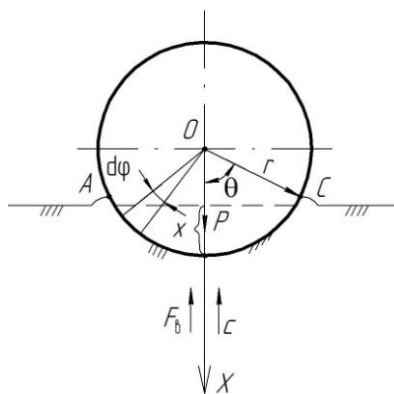


Рис.1. Розрахункова схема

де  $S_i$  – середнє значення прискорення зонда,  $m/c^2$ ;  $k$  – масштаб прискорення;  $W_{i-1}$  і  $W_i$  – значення прискорень на початку і в кінці інтервала інтегрування  $\Delta$ ,  $m/c^2$ ;  $i$  – крок квантування ударного імпульсу;  $V_i$  і  $X_i$  – відповідно значення швидкості,  $m/c$ , і глибини занурення індентора в ґрунт,  $m$ .

Для виключення похибок, пов'язаних з наявністю сталої інтегрування, в першому випадку інтегрування проводять у зворотному часі, тобто починаючи з моменту зупинки зонда, коли  $W_n = 0$  і  $V_n = 0$ :

$$w_i = S_{n-i+1}; \quad v_i = V_{n-i+1},$$

де  $n$  – кількість інтервалів квантування графіка гальмування. Таким чином, в мо-

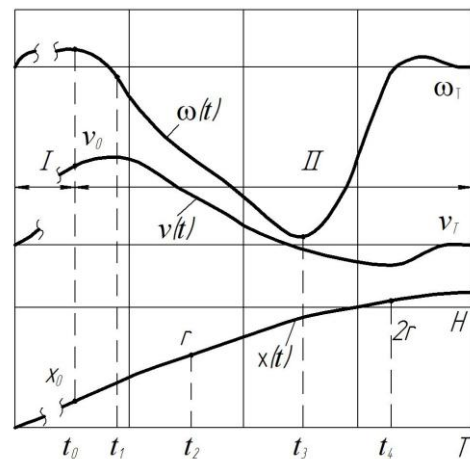


Рис.2. Графіки зондування ґрунту

мент входження зонда в ґрунт  $t_0$  визначається початкова швидкість удару  $v_0$ .

Переміщення зонда знаходять інтегруванням графіка  $v(t)$  в прямому напрямку, тобто від моменту  $t_0$  до повної зупинки  $T$ :

$$x_i = X_{n+1} - X_n.$$

На кожному кроці квантування розраховують функції

$$\begin{cases} (f_1)_i = (f_1)_{i-1} + \sqrt{2r x_{i-1} - x_{i-1}^2} (x_i - x_{i-1}); \\ (f_2)_i = v_i x_i; (f_3)_i = g - w_i; \end{cases} \quad (1)$$

де  $r$  – радіус сферичного зонда, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>. В розрахункових формулах змінна  $x_i$  зростає до величини  $2r$ , після чого стабілізується і в шарі ґрунту  $2r \leq x_i \leq H$  приймає сталі значення  $x_i = 2r$ , де  $H$  величина повного занурення зонда в ґрунт, м.

Далі знаходять проміжні значення величин за час ударного імпульсу згідно з [1]

$$\begin{cases} a_{i+1} = a_i + (f_1)_i^2 \Delta; \\ b_{i+1} = b_i + (f_2)_i (f_3)_i \Delta \\ c_{i+1} = c_i + (f_1)_i (f_3)_i \Delta \\ d_{i+1} = d_i + (f_1)_i (f_2)_i \Delta \\ e_{i+1} = e_i + (f_2)_i^2 \Delta \end{cases} \quad (2)$$

В'язкість  $\mu$  і зчеплення ґрунту  $\tau_0$  визначають із системи

$$\begin{cases} \mu = \frac{m}{3\pi} \sum_{i=1}^n \frac{cd - be}{ac - b^2}, \text{ Па}\cdot\text{с}; \\ \tau_0 = \frac{m}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{ae - bd}{ac - b^2}, \text{ Па}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $m$  – маса зонда, кг.

Динамічну міцність донних відкладень, якщо зонд проникає на глибину, що не перевищує його діаметр, визначають за формулою

$$\sigma_{g_i} = \frac{mw_i}{2\pi r x_i}, \text{ Па} \quad (4)$$

Досліджуючи структурно слабкі ґрунти, наприклад мули, водонасичені болотисті ґрунти та ін., розрахунок інтегральних оцінок  $\mu$  і  $\tau_0$  у шарі ґрунту  $2r \leq x_i \leq H$ , коли зонд напевно проникає на глибину  $H > 2r$ , може бути спрощений.

У цьому випадку по графіку переміщення зонда  $x(t)$  знаходять момент часу  $E$ , коли  $x_E = 2r$ , і відповідне йому миттєве значення швидкості  $v_E$ . Тоді в нових позначеннях швидкості  $v_j = v_{E+j}$  і переміщення зонда  $x_j = x_{E+j}$  визначають в'язкість, зчеплення і динамічну міцність ґрунту за формулами (5) де  $l$  – кількість інтервалів квантування графіка гальмування;  $j$  – крок квантування, починаючи з моменту  $E$  до повної зупинки зонда  $T$ .

$$\begin{cases} \mu = \frac{m}{6\pi r} \sum_{j=1}^l \frac{(v_E^2 / 2) \Delta j - v_E (x_j - 2r)}{v_j^2 \Delta j - (x_j - 2r)^2}; \\ \tau_0 = \frac{m}{\pi^2 r^2} \sum_{j=1}^l \frac{v_j \Delta (g \Delta j + v_E) - [g(x_j - 2r) + v_E^2 / 2](x_j - 2r)}{v_j^2 \Delta j - (x_j - 2r)^2}; \\ \sigma_{g_j} = \frac{mw_{E+j}}{4\pi r^2}, \end{cases} \quad (5)$$

Визначення властивостей донних ґрунтів в системі (5) є окремим випадком, що полегшує розрахунок параметрів при значній глибині занурення зонда в ґрунт (більше його діаметра). Взагалі треба користуватися формулами систем (3) і (4) з урахуванням позначень (1) і (2).

У відповідності з наведеним алгоритмом розроблено програму “Gidrop” для визначення деформаційно-міцнісних властивостей ґрунтів. Гравітаційний сферичний зонд [2] був споряджений п'єзоакселерометром KD-40 і підсилювачем потужності. Діаметр зонда 155 мм, маса з встановленою вимірювальною апаратурою 11,5 кг. Дослідження проведені в акваторії Чорного моря поблизу м. Керч [3].

Розраховані за цим алгоритмом характеристики донних відкладень зіставлялися з даними, одержаними під час іспитів зразків в лабораторних умовах за стандартними

методиками. Відхилення властивостей підводних ґрунтів, одержаних методом гравітаційного зондування, не перевищували 10 % за зчепленням, визначеним обертальним зрізом циліндричною крильчаткою, і 15 % – за динамічною структурною в'язкістю, визначеною ротаційним віскозіметром Rheotest-2 при довірчій вірогідності 0,9 [4].

**Ключові слова:** в'язкість, зчеплення, динамічна міцність, ударний імпульс, гравітаційний зонд.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Сукач М.К., 1998.** Математична модель гравітаційного зондування ґрунту сферичним зондом. Техніка будівництва, Вип.1, 39-44.
2. **Патент РФ № 2036483, 1995.** Сукач М.К. Устройство для исследования донного грунта. Опубл. 27.05.1995, БИ 15, 3.
3. **Евгений Горбатенко, Ирина Братасюк, Владимир Шаров, 2015.** Мобильные сооружения в береговой гидротехнике. Підводні технології, Вип.01, 23-32.
4. **Сукач М.К., Комоцька С.Ю., 1996.** Дослідження в'язкості донних осадків ротаційним віскозіметром. Гірн., буд., дор. і меліорат. машини, Вип.50, 50-52.