

Метод визначення властивостей донних ґрунтів in-situ

Михайло Сукач¹, Світлана Комоцька²

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

¹msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

²svetlanakama@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 індентором 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

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

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

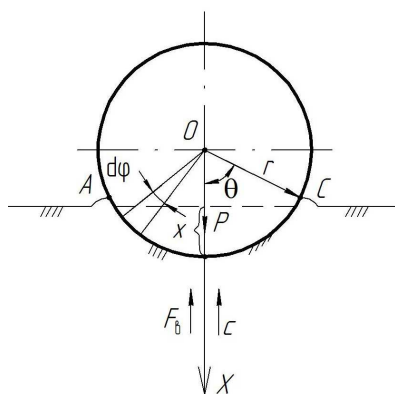


Рис.1. Розрахункова схема

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 Δ , 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-

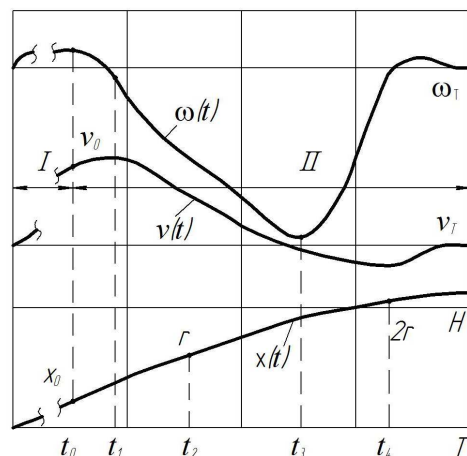


Рис.2. Графіки зондування ґрунту

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 :

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

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/с². 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 μ і зчеплення ґрунту τ_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 μ і τ_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. Керчі [3]. Алгоритм 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. Устрійство для дослідження донного ґрунта. Опубл. 27.05.1995, БИ 15, 3.
3. **Евгеній Горбатенко, Ірина Братасюк, Володимир 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.