



АВТОР



ЛИТВИНЕНКО А.С.
Завідувач лабораторії,
ДП "ДерждорНДІ"

ПРО МЕТОДИ СТАТИЧНОГО І ДИНАМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ЯК МЕТОДИ ПРЯМОГО ПОЛЬОВОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ

УДК 625.7/8

АНОТАЦІЯ

У роботі доводиться, що методи статичного і динамічного зондування можуть і повинні бути методами прямого польового визначення такого природного показника зв'язних ґрунтів, як їх коефіцієнт динамічної в'язкості. Використання реальних значень коефіцієнта динамічної в'язкості дозволяє в розрахунках міцності і стійкості відмовитися від таких штучних параметрів зв'язних ґрунтів, як кут внутрішнього тертя та зчеплення.

The study proves that the methods of static and dynamic probing can be and should be regarded as the methods of the direct field determination of such natural indicator of cohesive soils as their dynamic viscosity coefficient. The use of the actual values of dynamic viscosity coefficient allows abandoning such artificial characteristics of cohesive soils as an angle of internal friction and adhesion in the calculation of strength and stability.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Зв'язні ґрунти, статичне зондування, динамічне зондування, показник текучості, коефіцієнт динамічної в'язкості

ВСТУП

У небагатьох літературних джерелах, що нам відомі, фахівці з будівельного ґрунтознавства та механіки ґрунтів торкаються питання дослідження в'язкості зв'язних ґрунтів і визначення їх коефіцієнтів динамічної в'язкості – μ (Па·с). Одним із таких джерел є робота Н.Н. Маслова [1], в якій автор зокрема торкається як питання визначення цього показника, так і наводить його орієнтовні значення, посилаючись на свою ж таки роботу [2]. На цю ж роботу посилається і С.С. Вялов у своїй книзі [3]. Там же він наводить дані з цього питання і ще декількох авторів, а також робить порівняння лабораторних методів визначення цього показника.

У цій роботі ми покажемо, як ще можна досить швидко, і не тільки в лабораторних умовах, але й на основі польових випробувань, обґрунтовано визначити значення коефіцієнтів динамічної в'язкості зв'язних ґрунтів при їх різних станах методом динамічного зондування, що здійснюється за удосконаленою методикою зондування і обробки отриманих даних, наведених в роботі [4].



Як зазначає С.С. Вялов [3]: «Вязкость различных сред меняется в весьма большом диапазоне: от $1,8 \cdot 10^{-4}$ П для воздуха, 10^{-2} П для воды, $0,5 \dots 10,0$ П для различных масел и до $5 \cdot 10^{22}$ П для земляной коры».

Нас же, виходячи з досвіду практики проектування і спорудження штучних ґрунтових споруд, найбільше цікавить стан, а відповідно і в'язкість, ґрунтів в досить вузькому інтервалі значень показника текучості: $-0,5 \leq I_L \leq 0,5$. Комплексні лабораторні дослідження виконувались на відносно великих зразках ґрунтів ($D=152,0$ мм; $H=178,00$ мм) що виготовлялись за допомогою трамбууючого пристрою для виготовлення ущільнених зразків за методом Проктора. Ущільнення здійснювалося у дев'ять шарів через шабот-вкладиш для забезпечення рівної поверхні зразка з обох його сторін, оскільки у комплекс випробувань входило не тільки визначення сили опору ґрунту зондуванню і коефіцієнта динамічної в'язкості (рис. 1), але і визначення для кожного зразка модулів пружності (деформації) (рис. 2) та величини найбільшого допустимого пружного прогину, що відповідає цьому модулю. Дослідження модулів пружності і величини прогину здійснювалося за новою удосконаленою методикою і при збільшенні чутливості індикаторів переміщення з $0,01$ мм до $0,001$ мм для напівтвердого і тугопластичного стану ґрунтів.

Робота виконувалась за схемою греко-латинського квадрата із жорсткою прив'язкою до певних значень показника текучості I_L . Ступінь водонасичення всіх зразків $S_r \geq 0,95$. Згідно прийнятого плану експериментальних досліджень одночасно вивчався як вплив діаметра наконечника (індентора) – (d) на силу опору ґрунтів зондуванню F , H , так і кут його загострення – (α°). В подальших дослідженнях передбачалось ще й визначення сили опору ґрунтів зондуванню в залежності від їх виду за числом пластичності I_p .

Необхідний ступінь водонасичення зразків $S_r \geq 0,9 \dots 0,95$ досягався вже в процесі їх виготовлення трамбуванням. Як показали окремі зразки, задані в процесі ущільнення вологість (w) практично не змінювалась, навіть при насиченні їх водою з вакуумуванням протягом трьох - шести місяців. При цьому, як верхнє, так і нижнє деще форми мали велику кількість отворів діаметром $2,0$ мм, а між зразком і денцями у два шари клався фільтрувальний папір.

Лабораторні дослідження зразків на опір зондуванню дозволяють залучити експериментальний досвід вже давно і добре випробуваний у гідро- і аеродинаміці [5].

Згідно цього досвіду [5]: «Сила сопротивления при обтекании тела вязкой жидкостью зависит от нескольких параметров, а именно от скорости, вязкости жидкости, поперечных размеров тела и плотности среды; функциональная зависимость в этом случае имеет вид:



Рис.1. Пристрій для динамічного зондування зразків в лабораторії.



Рис.2. Штампові випробування зразків на важільному пресі.

$$P = f(v, L, w, \rho, \mu),$$

где P – сила сопротивления; v – скорость набегающего потока жидкости; w – площадь миделева сечения... остальные обозначения прежние».

В результате анализ размерностей цих показників приводит до выразу [5]:

$$P = C \rho v^2 w f(R),$$

де $-f(R) = R^{-5}$ (або – в загальному випадку – будь-яка інша функція числа Рейнольдса, де саме число Рейнольдса, як безрозмірний комплекс, має такий



вигляд:

$$R = vdp/\mu,$$

де v – швидкість руху; d – міделевий діаметр; ρ – густина середовища; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості.

Про це ж саме можемо довідатись і в роботі [6].

Таким чином, згідно аналізу розмірностей для умов динамічного зондування можемо визначити так:

Таблиця 1. Вихідні дані до аналізу розмірностей

№ змінної	Назва змінної	Позначення	Формула розмірності
1	Густина ґрунту (об'ємна маса ґрунту)	ρ	$M L^{-3}$
2	Коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту	μ	$M L^{-1} T^{-1}$
3	Величина міделєвого перерізу конуса	d	L
4	Сумарна маса молота і зонда	m	M
5	Середня швидкість одночасного руху молота і зонда	v	$L T^{-1}$
6	Глибина зондування за один удар молота	h	L
7	Прискорення вільного падіння	g	$L T^{-2}$
8	Сила опору ґрунту зондуванню	F	$M L T^{-2}$

Тоді:

$$F = \varphi(\rho^a; h^b; \mu^c; m^k; v^h; d^m; g^p) \quad (1)$$

або:

$$MLT^{-2} = [(ML^{-3})^a (ML^{-1}T^{-1})^c (M)^k (LT^{-1})^h (L)^m (LT^{-2})^p] \quad (2)$$

для

$$\begin{aligned} M; & 1=a+c+k; \\ L; & 1=-3a+b-c+n+m+p; \\ T; & -2=-c-n-2p; \end{aligned}$$

тоді після всіх спрощень маємо:

$$\begin{aligned} a &= 1-c-k; \\ n &= 2-c-2p; \\ m &= p-b+2-c-3k. \end{aligned}$$

Підставляючи ці співвідношення для показників ступенів у формулу (1), отримуємо:

$$F = \varphi(\rho^{1-c-k}; h^b; \mu^c; m^k; v^{2-c-2p}; d^{p-b+2-c-3k}; g^p). \quad (3)$$

І врешті-решт, об'єднуючи члени з однаковими показниками ступенів, отримуємо такі безрозмірні комбінації:

$$\frac{F}{\rho v^2 d^2} = \varphi\left(\frac{\mu}{\rho \cdot v \cdot d}\right)^c \left(\frac{h}{d}\right)^b \left(\frac{M_{m+3}}{\rho d^3}\right)^k \left(\frac{gd}{v^2}\right)^p. \quad (4)$$

Від умов статичного зондування цей набір безрозмірних комплексів відрізняється тільки тим, що при статичному зондуванні не буде останнього з них – v/gd (число Фруда), оскільки динамічне зондування здійснюється із впливом поля земного тяжін-

ня, а сила опору при статичному зондуванні не залежить від прискорення вільного падіння.

Не претендуючи на більш повний аналіз співвідношення всіх згаданих безрозмірних комплексів тільки зазначимо, що для нас найбільш важливим є саме число Рейнольдса, яке дозволяє більш-менш об'єктивно визначити такий важливий для будівельного ґрунтознавства показник, як коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунтів – μ , Па·с. Та перед початком аналізу отриманих експериментальних даних необхідно було більш об'єктивно визначитися із таким важливим параметром, як швидкість руху конуса в ґрунтового середовищі при його динамічному зондуванні.

Як відомо і попередні [7, 8] і чинні [9] в Україні нормативні документи при визначенні показника так званого умовного динамічного опору зондуванню – P_d , МПа (а в склад цього показника входить і сила опору зондуванню F , Н) користувались залежністю [10]:

$$P_d = (K \cdot P_o \cdot \Phi \cdot n) / h, \quad (5)$$

в якій при визначенні коефіцієнта K :

$$K = (M_m + e^2 \cdot M_3) / (M_m + M_3) \quad (6)$$

додатково враховували спеціальний коефіцієнт $e=0,56$ ($e^2=0,314$) для врахування пружності удару молота при його взаємодії із зондом (як сумою мас занурених штанг) та ґрунтом.

Стосовно цього коефіцієнта автори роботи [11] пишуть: «Известно, что при (не упругом ударе $e=0$, при абсолютно упругом ударе $e=1$. При упруго-пластичном ударе, что имеет место в процессе динамического зондирования, коэффициент e принимает промежуточное значение. Для стали, в частности, $e=0,556$, что и принято в нормативных документах. Однако исследования подскока молота при зондировании показывают, что характер упруго-пластического удара молота определяется в значительной степени свойствами ґрунтов. Поэтому следует рассматривать систему молот – зонд – ґрунт как единое целое». В іншому місці ці ж автори [11] пишуть: «При зондировании слабых ґрунтов подскока молота при ударе, как правило, не наблюдается, что свидетельствует о неупругом характере удара. Поэтому значения коэффициента K при учете потерь энергии при ударе следует рассчитывать по формуле:

$K = (M_m) / (M_m + M_3)$, принимая значение коэффициента $e=0$, как при неупругом ударе (M_m и $\sum M_3$ – соответственно массы молота и зонда с оголовником и наконечником)».

Але в усіх, як колишніх ГОСТ, так і чинних ДСТУ умови використання коефіцієнта e спеціаль-



но не наголошувались, що призводило (і призводить дотепер) до певної і досить великої похибки у визначенні показника P_d , а відповідно, і у визначенні сили опору ґрунтів зондуванню F , H . Та якщо дотепер при практичному користуванні такими нормативними документами це не мало особливо значення, оскільки вони розглядають метод динамічного зондування (як і статичного зондування) тільки як допоміжний до інженерно-бурових робіт, то тепер, коли на основі даних динамічного зондування можна визначати коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунтів, такий підхід є неприпустимим.

Більш того, при оцінці методом динамічного зондування стану і властивостей зв'язних ґрунтів, що нас найбільше цікавлять, ми можемо виконувати зондування тільки до появи підскоку і коли він з'являється, роботи зазвичай необхідно припиняти, бо це свідчить про досить велику міцність розташованих глибше шарів ($I_L < -0,5$).

Таким чином, враховуючи саме пластично-в'язаний характер деформування ґрунтів в процесі динамічного зондування, слід розраховувати швидкість руху наконечника разом із зондом і молотом через імпульс тіла після зіткнення їх мас і сумісному русі в ґрунті за один удар молота:

$$V = (M_m \cdot V_m) / (M_m + M_3). \quad (7)$$

При цьому середня швидкість (V_{cp}) системи має бути відповідно вдвічі меншою.

Проведені порівняльні розрахунки значень показника – P_d , МПа показали, що його абсолютні значення при $e=0$ зменшились лише в 1,2 рази порівняно із розрахунками при $e=0,314$, а при розрахунках через імпульс тіла вони зменшуються приблизно у п'ять разів порівняно із розрахунками при $e=0,314$. Характерно, що складність розрахунків значень показника P_d при цьому не збільшилась порівняно із попередньою процедурою і досить просто може виконуватись навіть на програмованому калькуляторі, не кажучи вже про персональний комп'ютер чи ноутбук.

Майже не змінився при цьому і характер безперервного графіка (епюри) усереднених значень показника $P_{d\,cp}$ і параметрів розкиду його значень у шарі при визначенні різних за властивостями шарів по глибині зондувальної свердловини. Більш того, при нових абсолютних значеннях показників P_d , МПа він став ще більш виразним.

Також ще більшої ваги набули значення показника P_d через їх прив'язку до певних значень показника текучості I_L . Тепер на будь-яких графіках дуже добре видно, що той чи інший прошарок чи шар має властивості кращі чи гірші (і на скільки) порівняно із станом ґрунту на його межі розкошування. Це ж в однаковій мірі стосується і значень коефіцієнтів динамічної в'язкості ґрунтів – μ , Па·с чи значення модуля пружності $E_{кр}$, МПа.

При аналізі даних лабораторних досліджень, од-

ночасно із значеннями показника P_d , для кожного зразка розраховувались значення величини переміщення наконечника за один удар; середня швидкість його руху (V_{cp} , м/с); сила опору F , H ; безрозмірний коефіцієнт опору (C_x); число Рейнольдса (R) та коефіцієнтів динамічної в'язкості (μ , Па·с).

На основі аналізу отриманих лабораторних даних для легкого пилуватого суглинку, характеристики якого наводяться на рисунках до цієї роботи, при $S_r \geq 0,95$ отримали такі залежності:

$$P_d = 0,4 \exp(-3,67 I_L), \text{МПа}. \quad (8)$$

$$\mu = 15,0 \exp(-2,5 I_L), \text{кПа·с}. \quad (9)$$

$$E_{np} = 70,0 \exp(-3,9 I_L), \text{МПа}. \quad (10)$$

Ці залежності, до отримання більш точно визначених на основі наступних лабораторних досліджень, можуть бути використані при попередніх оціночних розрахунках і для інших зв'язних ґрунтів.

На рис. 3 показано (за усередненими даними) характер функціональної залежності (8). Подібний характер мають і залежності (9) і (10). Для практичного визначення показників μ і E_{np} достатньо за даними показника P_d , отриманими в процесі польових випробувань штучно створених ґрунтових масивів, оцінити показник текучості I_L для кожного з виокремлених шарів, і підставивши їх у залежності (9) і (10), розрахувати значення показників μ , Па·с та E , МПа які в свою чергу вже можуть бути безпосередньо використані у розрахунках стійкості, міцності і деформативності певних елементів штучних ґрунтових масивів.

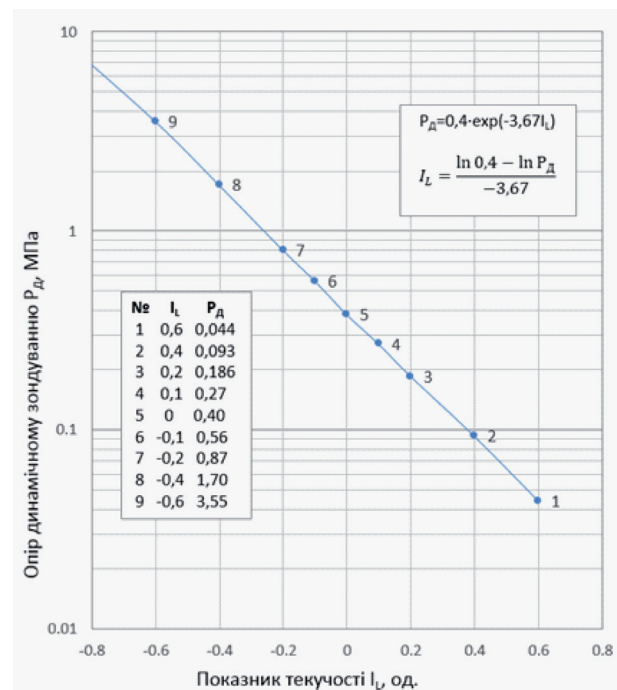


Рис.3. Залежність показника P_d , розрахованого через імпульс тіла, від показника текучості $P_d = f(I_L)$.



Визначені подібним чином показники текучості можуть бути уточнені шляхом перерахунку за результатами визначення вологості зразків, що відібрані із відповідних шарів та значень густини частинок ґрунтів (ρ_s), що не вимагає використання ні ріжучих кілець, ні інших засобів відбору монолітів ґрунтів.

На рис. 4 надається графічна інтерпретація інтервалу значень показників текучості ($-0,5 \leq I_L \leq 0,5$), що досліджувався для визначення коефіцієнта в'язкості μ . Цей (інтервал) тут розглядається як дотична лінія до гіперболічної залежності $\rho_d = f(w)$ у точці, що відповідає вологості ґрунту на межі розкочування w_p .

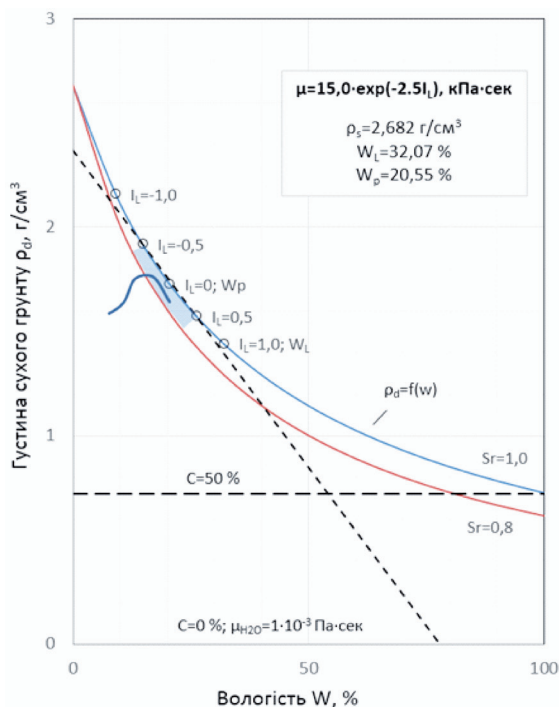


Рис.4. Інтервал станів зв'язних ґрунтів, що досліджувався при визначенні показників μ , Па·с та E_{np} , МПа.

Тут же (рис. 4) схематично показано і типову криву стандартного ущільнення ґрунтів, оскільки зазвичай величина так званої максимальної густини сухого ґрунту (ρ_{dmax}) практично відповідає густині сухого ґрунту на межі розкочування (ρ_{dop}). На цьому ж малюнку також показані значення концентрації ґрунтових паст і розчинів (суспензій) – $C\%$, які свідчать, що коли концентрація цих суспензій наближується до нуля ($C=0\%$) то, згідно отриманої залежності (9) мають показник текучості $\mu=1 \cdot 10^{-3}$ Па·с так само як і вода (1 МПа·с).

Цікавим також є порівняння залежності значень показника penetрації ґрунтів конусом – R , МПа ($\alpha=30^\circ$) при визначенні меж пластичності (w_p-w_L) за В.Ф. Розареновим [12], та залежності, що побудована для нових значень показника R_d , МПа, розрахованих через імпульс тіла, яке показано на рис. 5. Відсутність повного збігу між ними можна

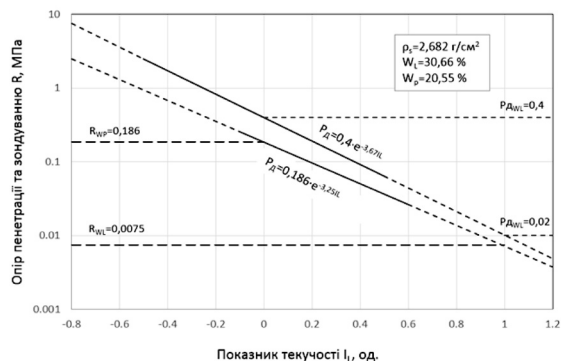


Рис.5. Порівняння даних penetрації R та динамічного зондування P_d , значення яких розраховано через імпульс тіла

пояснити хіба що тільки різною величиною кута при вершині конуса – $\alpha=60^\circ$ при зондуванні. Виходячи з цього, можна запропонувати перейти від чинної penetрації конусом $\alpha=30^\circ$, що використовується лише в деяких країнах колишнього СРСР, до penetрації конусом $\alpha=60^\circ$, оскільки відлік глибини занурення конуса у ґрунт при різних станах (пластичностях) ґрунтів в будь-якому випадку слід визначати не на око – по рисочці, а по циферблатній шкалі пенетрометра.

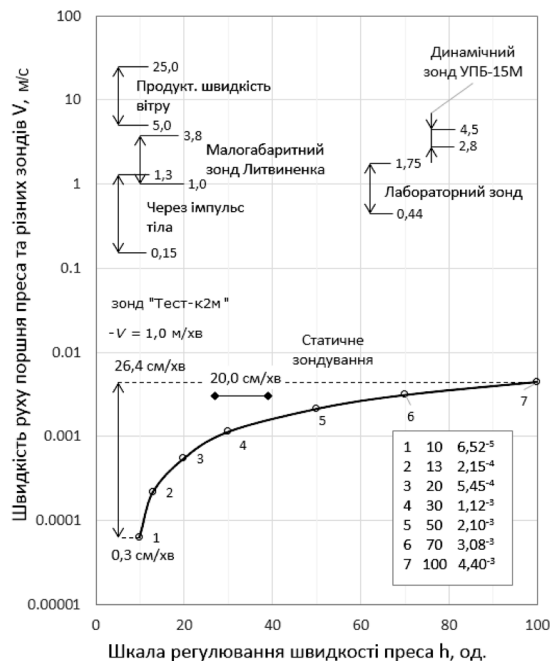


Рис.6. Порівняння швидкостей випробувань різних будівельних матеріалів і ґрунтів.

На рис. 6 дано загальне порівняння швидкостей протікання різних процесів і явищ: від випробування на руйнування зразків при стиску на пресі ($v=0,3$ см/хв.), до продуктивної швидкості вітру ($v=5-25$ м/с). З цього порівняння видно, в чому полягає головний недолік чинного методу статичного зондування зв'язних ґрунтів – зазвичай дуже маленька швидкість подачі зусилля при невеликій густині ґрунту, що не дозволяє правильно оціню-



вати реальний опір ґрунтів зондуванню в польових умовах. В той же час швидкість руху наконечника динамічного зонда як в лабораторних, так і в польових умовах майже на два порядки більше, і в цілому збігається із швидкістю руху води в звичайних побутових водонесучих мережах. До того ж у всіх модифікаціях зондів, які нами використовувались, є можливість скидати молот з різної висоти, що особливо важливо для польової модифікації зонда [4]. Таким чином, існує можливість регулювати величину імпульсу сили на величину занурення конусу шляхом зміни кількості ударів молота (зазвичай від трьох до п'ятнадцяти ударів). При цьому добре видно, наскільки ефективно кожен удар використовується при зондуванні і наскільки повно відповідає фізичному стану ґрунту, що досліджується.

Проведені дослідження також дозволили порівняти процес динамічного зондування конусом зв'язних ґрунтів різного стану з процесами обтікання тіл іншої конфігурації потоками різної в'язкості і густини. На рис. 7 наведено результати як колишніх наших досліджень, з метою моделювання процесу статичного і динамічного зондування, так і теперішні. Характерно, що всі вони досить добре лягають на одну лінію залежності коефіцієнта опору C_x від числа Рейнольдса, а саме:

$$C_x = 4,116 \cdot R^{-0.83}. \quad (11)$$

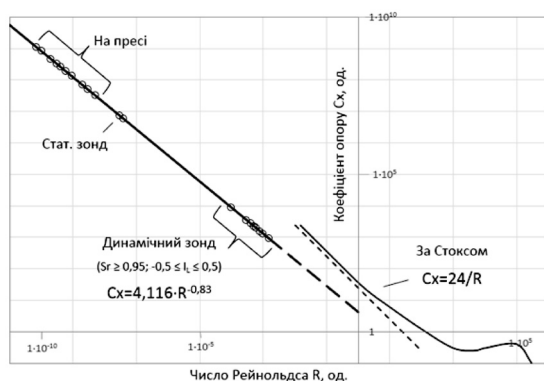


Рис. 7. Порівняння даних статичного і динамічного зондування із даними традиційних гідравлічних випробувань.

ВИСНОВКИ

Як показали проведені лабораторні дослідження, при відповідному доопрацюванні, методи динамічного і статичного зондування можуть використовуватись як методи прямого визначення коефіцієнта динамічної в'язкості зв'язних ґрунтів в інтервалі показника текучості $(-0,5 \leq IL \leq 0,5)$ при $Sr \geq 0,90 \dots 0,95$.

Лабораторні дослідження також показали, що при згаданих вище умовах коефіцієнт динаміч-

ної в'язкості ґрунтів може змінюватись в інтервалі $1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^6$ Па·с.

При станах ґрунтів, з якими найбільш часто зустрічаються виробничники і проєктанти, лабораторні визначення коефіцієнта динамічної в'язкості по точності не поступаються традиційним випробуванням ґрунтів як на одноплощинний зріз, так і при стабілометричних випробуваннях.

Проведені розрахунки стійкості укосів штучних споруд, як не порушених, так і уражених зсувами, показали, що значення коефіцієнта динамічної в'язкості μ можуть цілком замінити не тільки значення показників зчеплення (C) зв'язних ґрунтів, але і відповідають традиційним значенням тангенсів кута внутрішнього тертя (ϕ) для піщаних ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маслов Н.Н. Механика ґрунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними): учебное пособие для вузов / Н.Н. Маслов. – М.: Стойиздат, 1977. – 320 с.
2. Маслов Н.Н. Реологические явления и их значения в развитии оползневых процессов: тезисы докладов междоуведомственного совещания по инженерной геологии / Маслов Н.Н., Караулов З.М. – М.: МГУ, 1968.
3. Вялов С.С. Реологические основы механики ґрунтов / Вялов С.С. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
4. Литвиненко А.С. Удосконалення методики обробки даних, отриманих методами динамічного і статичного зондування ґрунтів / Литвиненко А.С. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць – К.: НДІБК, Вип. 63, 2005. – С. 154-162.
5. Яблонский В.С. Краткий курс технической гидромеханики / Яблонский В.С. – М.: Изд. физ-мат. литературы, 1961. – 356 с.
6. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента; пер. с английского / Шенк Х. – М.: Мир, 1972 – 382 с.
7. ґрунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием: ГОСТ 19912-74. – М.: Госстандарт, 1975.
8. ґрунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием: ГОСТ 19912-81. – М.: Госстандарт, 1982.
9. ґрунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием: ГОСТ 19912-2001 (ДСТУ БВ.2.1-9-2001). – К., 2002.
10. Трофименков Ю.Г. Полевые методы исследования строительных свойств ґрунтов / Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. – М.: Стойиздат, 1981. – 215 с.



11. Рубинштейн А.Я. Динамическое зондирование грунтов / Рубинштейн А.Я., Кулачкин Б.И. – М.: Недра, 1984. – 98 с.
12. Разорёнов В.Ф. Пенетрационные испытания грунтов (теория и практика применения) / Разорёнов В.Ф. – М.: Стойиздат, 1980 – 247с.

REFERENCES

1. Maslov, N.N. (1977). Mekhanika gruntov v praktike stroitelstva (opolzni i borba s nimi) [Soil mechanics in the construction practice (landslides and their control)]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].
2. Maslov N.N., & Karaulov, Z.M. (1968). Reolohicheskie yavleniia i ikh znacheniiia v razvitiu opolznevykh protsessov [Rheological phenomena and their role in the landslide processes development]. Theses of reports: Mezhdovedomstvennoie soveshchaniie po inzhenernoi heolohii - The interagency meeting on geological engineering. Izdatelstvo MGU [in Russian].
3. Vialov, S.S. (1978). Reolohicheskie osnovy mekhaniki gruntov [Rheological basics of soil mechanics]. Moscow: Izdatelstvo «Vysshiaia shkola» [in Russian].
4. Lytvynenko, A.S. (2005). Udoskonalennia metodyky obrobky danykh, otrymanykh metodamy dynamichnoho i statychnoho zonduvannia gruntiv [Improvement of the processing procedure for the data obtained by the methods of soils dynamic and static penetration tests]. Mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk «Budivelni konstruktsii» NDIBK – Interagency science and technical collection of articles «Civil structures» NDIBK, 63, 154-162.
5. Yablonskii, V.S. (1961). Kratkii kurs tekhnicheskoi hidromekhaniki [Short course in technical fluid mechanics]. Moscow: Izdatelstvo fiziko-matematicheskoi literatury [in Russian].
6. Shenk, Kh. (1972). Teoriia inzhenernoho eksperimenta [Theory of engineering experiment]. Moscow: Izdatelstvo «Mir» [in Russian].
7. ГОСТ 19912-74 Grunty. Metod polevoho ispytaniia dinamicheskim zondirowaniem [Soils. Method of field dynamic cone penetration test]. (1975). HOST 19912-74. Moscow: Hosstandart [in Russian].
8. Grunty. Metod polevoho ispytaniia dinamicheskim zondirowaniem [Soils. Method of field dynamic cone penetration test]. (1982). HOST 19912-81. Moscow: Hosstandart [in Russian].
9. Mezhhosudarstvennyi standart. Metody polevykh ispytaniy staticheskim i dinamicheskim zondirowaniem [Soils. Methods of field static and dynamic cone penetration tests]. (2002). Interstate standard. HOST 19912-2001 (DSTU B V.2.1-9-2001). Kiev [in Russian].
10. Trofimenkov, Yu.H., & Vorobkov, L.N. (1981). Polevyie metody issledovaniia stroitelnykh svoystv gruntov [Field methods for the investigation of soils building properties]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].
11. Rubinstein, A.Ya., & Kulachkin, B.I. (1984). Dinamicheskie zondirovaniie gruntov [Dynamic penetration tests of soils]. Moscow: Izdatelstvo «Nedra» [in Russian].
12. Razorionov, V.F. (1980). Penetratsionnyie ispytaniia gruntov (teoriia i praktika primeneniia) [Cone penetration tests of soils (the theory and practice of application)]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].