

НЕРУЙНІВНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В ДИСПЕРСНИХ ГРУНТАХ

У статті розглянуті результати експериментів з ультразвукового контролю структуроутворення в глинистих грунтах. Показаний вплив процесів структуроутворення на швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль. Отримані апроксимічні рівняння, які враховують зміну швидкості з часом. Винайдено, що при певній щільності скелета ґрунту процеси структуроутворення ідуть найбільш активно. Запропоновано пояснення цього факту з точки зору теорії іонно-електростатичної взаємодії між дисперсними частинками.

В статье рассмотрены результаты экспериментов по ультразвуковому контролю структурообразования в глинистых грунтах. Показано влияние процессов структурообразования на скорость распространения продольных волн. Получены аппроксимирующие уравнения, которые учитывают изменение скорости со временем. Обнаружено, что при определенной плотности скелета грунта процессы структурообразования протекают наиболее активно. Предложено объяснение этого факта с точки зрения теории ионно-электростатического взаимодействия между дисперсными частицами.

The results of the experiments on ultrasonic monitoring of structure-forming processes in clayey grounds are considered in the paper. An effect of structure-forming processes on propagation velocity of longitudinal waves has been demonstrated. The approximating equations, taking into account the time-dependence of the velocity, have been derived. It has been revealed that the structure-forming processes run most actively at certain density values of the soil skeleton. An explanation to this fact has been suggested from the standpoint of the theory of ion-electrostatic interaction between dispersed particles.

Застосування ультразвукових методів контролю міцності, пружних, пластичних і в'язких властивостей, а також інших показників будівельних матеріалів, виробів і конструкцій уже багато років привертає увагу інженерів. На те є такі їх основні переваги:

- відсутність впливів, що руйнують контрольований матеріал чи конструкцію;
- можливість відтворення дослідів, що дає акустичним методам особливу вірогідність, тому що дозволяє багаторазово випробувати ті самі зразки і вироби, а також готові конструкції в різний час як під час будівництва, так і в процесі експлуатації;
- можливість швидкого проведення контролю і практично «миттєве» одержання результатів, що дозволяє вносити уточнення в технологічний процес.

Відомі приклади застосування акустичних методів для контролю утворення структури гірського масиву під час цементації [1; 2]. Оснований такий контроль на залежності швидкості поздовжніх хвиль від кількості та міцності зв'язків між структурними елементами.

У статті розглянута можливість аналогічного контролю для процесу структуроутворення в дисперсних глинистих грунтах.

Ґрунт являє собою частинки, які контактують між собою в деяких точках, проте, між частинками внаслідок нещільного укладення є простір – пори, які заповнені неущільненими коагульованими глинистими частинками [3]. Структура породи ґрунту обумовлюється складом, кількісними компонентами і їх взаємодією. При цьому під компонентами породи розуміють тверду, рідку і газоподібну складові. Структури порід утворюються твердими (мінеральними) структурними елементами, що складають структурний кістяк, і порами, які заповнені рухомими (рідким і газовим) компонентами. Сполучення в об'ємі твердих елементів з порами характеризують зовнішній вигляд структури. При вивченні структури породи велике значення має розгляд структурних особливостей її окремих елементів [5].

Під твердими структурними елементами варто розуміти елементарні мінеральні частки, зерна і їх асоціації, що визначають природну дисперсність породи і формують її структурний кістяк. У глинистих породах виділяють: первинні глинисті частинки, ультрамікроагрегати, мікроагрегати, агрегати, зерна, а також включення залишків мікрофауни і флори, мікрокристалів солей і рудних мінералів.

Інша складова структури породи – пори, що утворюються в результаті нещільного приля-

гання твердих структурних елементів. Загальна величина пористості породи, а також розмір пор і їхня форма залежать від розміру і форми твердих структурних елементів, ступеня їх агрегованості й ущільненості, характеру розподілу в просторі і т. д. Теоретичні розрахунки показують, що пористість модельних глобулярних структур залежить від упакування і може змінюватися від 26 % у ромбоєдричній комірці до 47,6 % у кубічній.

Структурні елементи, що складають глинисті породи, взаємодіють між собою не по всій міжфазній поверхні, а тільки в місцях найбільшого зближення – контактах. Число і характер контактів – найважливіші характеристики порід, що обумовлюють структурну зв'язність.

При проведенні акустичного контролю установлюють відповідність між швидкістю поздовжніх хвиль і властивістю середовища, наприклад, щільністю глинистих ґрунтів. Але, глинисті ґрунти являють собою трикомпонентне середовище і, очевидно, співвідношення між фазами визначає швидкість поздовжніх хвиль у середовищі [5].

Для вивчення процесу структуроутворення циліндричні зразки суглинків різної щільності та вологості після виготовлення розташовувалися в ексикаторі, щоб зберегти їх вологість. Періодично в зразках вимірювали швидкість поздовжніх хвиль, зміна якої характеризує розвиток структурних зв'язків у ґрунтах.

У результаті експерименту була встановлена графічна залежність швидкості поздовжніх хвиль від часу при фіксованій щільності і вологості: $v_p = f(t)$. З'ясувалося, що у випадках, коли заповнювач пор ґрунту є неполярна рідина, то швидкість хвиль з часом не змінюється. Тобто після формування зразків ґрунту додаткові структурні зв'язки не утворюються. Якщо заповнювач повністю відсутній, тобто в зразках із сухого ущільненого порошку суглинку, швидкість поздовжніх хвиль з часом навіть зменшується (рис. 1). Це є ознакою того, що «сухий» контакт між частинками ненадійний і поступово ослаблюється.

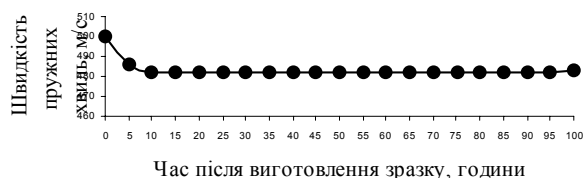


Рис. 1

І тільки за наявності води в зоні контакту між частинками, тобто для зразків з $\omega > 0$, спостерігається зростання швидкості поздовжніх хвиль з часом (рис. 2). Приріст швидкості тим більший, чим більша початкова щільність ґрунту.

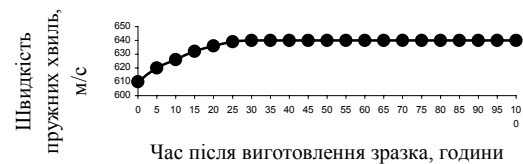


Рис. 2

За результатами експерименту залежність $v_p = f(t)$ має вигляд [6]

$$v_p = v_0 + v_{np} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{v_{np}} t} \right), \quad (1)$$

де v_0 – початкова швидкість у зразку при $t = 0$, v_{np} – деякий коефіцієнт, який характеризує приріст швидкості.

У табл. 1 наведені залежності $v_p = f(t)$ для зразків із середнього суглинку ($I_p = 11,2$) з різною вологістю і щільністю.

Таблиця 1

$v_p = f(t)$, м/с	ω , %	ρ_d , г/см ³
$v_p = 546 - 146,73 \cdot (1 - e^{-0,00682 \cdot t})$	0,0	1,60
$v_p = 846 + 258,45 \cdot (1 - e^{-0,00386 \cdot t})$	4,7	1,60
$v_p = 745 + 251,14 \cdot (1 - e^{-0,00398 \cdot t})$	10,6	1,59
$v_p = 582 + 197,21 \cdot (1 - e^{-0,00507 \cdot t})$	19,7	1,61

Значення початкової швидкості v_0 та коефіцієнта v_{np} дозволяють визначити швидкість поздовжніх хвиль на будь-якому відрізку часу за формулою (1). І відповідно зробити висновок про тривалість процесу структуроутворення.

Характер кривих $v_p = f(t)$ для даного (табл. 1) та інших досліджених ґрунтів дозволяє стверджувати, що коефіцієнт приросту швидкості v_{np} залежить від вологості. Причому залежність $v_{np} = f(\omega)$ має вигляд кривої з явним екстремумом (рис 3). Тобто для кожного ґрунту

існує така вологість, при якій приріст швидкості поздовжніх хвиль максимальний. Значення цієї вологості зростає із збільшенням дисперсності ґрунту. Ущільнення скелета ґрунту приводить до збільшення кількості контактів між структурними елементами і, як наслідок, до більшого приросту швидкості поздовжніх хвиль.

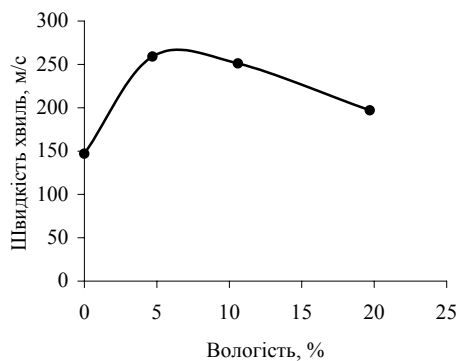


Рис. 3

Характеристикою структуроутворення слід вважати відносний приріст швидкості, тобто в порівнянні з початковою швидкістю. Саме ця величина відображає додаткове зміцнення структурних контактів.

У ході експериментів з'ясувалося, що залежність відносного приросту швидкості від щільності скелета ґрунту є функцією з явним екстремумом. Більш того, виявилось, що значення щільності скелета ґрунту, яке відповідає екстремуму, одне і те ж для зразків з різною вологістю. Це значення відповідає такій щільності скелета ґрунту $\rho_{d \text{ стр}}$, при якій найбільш активно ідуть процеси структуроутворення. Збільшення дисперсності ґрунту приводить до зменшення величини $\rho_{d \text{ стр}}$ (рис. 4).

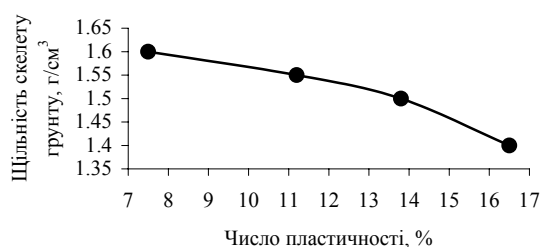


Рис. 4

Це знаходить своє пояснення, зважаючи на той факт, що структуроутворення – процес збільшення кількості та зміцнення іонно-

електростатичних зв'язків між дисперсними частинками. При наближенні двох дисперсних частинок відбувається перекривання їх дифузних шарів і відповідно змінюється розподіл потенціалу між ними. А це, в свою чергу, приводить до збільшення в зазорі між частинками концентрації катіонів, яким енергетично вигідніше розташовуватись в потенційній ямі. За таким розташуванням катіони взаємодіють з поверхнями обох частинок. За рахунок цього і утворюються іонно-електростатичні «містки» між частинками. Переміщення катіонів в потенціальну яму відбувається через водяний заповнювач пор ґрунту. Поверхнева вода є зв'язаною і має підвищену в'язкість. Тому наведення «містків» триває деякий час, що і спостерігається в досліджах, як поступове зростання швидкості поздовжніх хвиль.

Іонно-електростатичні сили взаємодії між дисперсними частинками є силами середнього радіуса дії і стають найбільш суттєвими при наближенні дисперсних частинок на відстань 2–3 нм. І, очевидно, що щільність структуроутворення $\rho_{d \text{ стр}}$ відповідає саме цьому випадку.

Природно, що для більш дисперсних ґрунтів, у яких питома поверхня глинистих частинок більша, $\rho_{d \text{ стр}}$ зменшується.

Винайдений параметр ґрунту – щільність максимального структуроутворення $\rho_{d \text{ стр}}$ доцільно враховувати при розробці технології зведення ґрунтових основ.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ляховицкий Ф. М., Хмелевской В. К., Яценко З. Г. Инженерная геофизика. – М., 1989. – С. 206–210.
2. Глушко В. Т., Ямщиков В. С., Яланский А. А., Гришечкин С. А. Определение качества укрепительной цементации и обделки тоннелей. В кн. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М., 1987. – С. 247–257.
3. Гольдштейн. М. Н. Механические свойства грунтов. – М., 1973. – 375 с.
4. Осипов В. И., Соколов В. Н., Румянцева Н. А. Микроструктура глинистых пород. – М., 1989. – 212 с.
5. Гришечкин. С. А. Влияние влажности на скорость распространения упругих волн в дисперсных грунтах // Придніпровський науковий вісник. № 110, листопад 1998. – С. 9–12.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М., 1988. – 239 с.

Надійшла до редколегії 24.10.03.