

Список літератури

1. Самедов А. М. Деформирование и разрушение конструкций при термосиловых воздействиях / А. М. Самедов. – М.: Стройиздат, 1989. – 432 с.
2. Лялько В. И., Митник М. М. Исследование процессов переноса тепла и вещества в земной коре / В. И. Лялько, М. М. Митник. – К.: Наук. думка, 1978. – 198 с.
3. Милованов А. Ф. Прочность бетона при нагреве // Работа железобетонных конструкций при высоких температурах. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 6–18.
4. Огильви Н. А. Вопросы теории геотемпературных полей в приложении к геотермическим методам разведки подземных вод // Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли. Т. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 24–31.
5. Любимова А. Е. Основы определения теплового потока / А. Е. Любимова, Л. Н. Люсова, Ф. В. Фирсов // Геотермические исследования. – М.: Недра, 1964. – С. 116–124.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.А.
Надійшла до редакції 21.03.2012*

УДК 622.272:622.257.1

© М.І. Ступнік

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАБУХАННЯ ГЛИН

В роботі запропоновані теоретичні підходи щодо дослідження процесу набухання глинистих матеріалів, які залежать від мікроскопічних (структура, текстура, мінералогічний склад, природа та концентрація іонів гідратуючих розчинів) та макроскопічних (прикладена напруга, анізотропність, вологість, початковий вміст води) властивостей.

В работе предложены теоретические подходы к исследованию процесса набухания глинистых материалов, которые зависят от микроскопических (структура, текстура, минералогический состав, природа и концентрация ионов гидратирующих растворов) и макроскопических (приложенное напряжение, анизотропность, влажность, исходное содержание воды) свойств.

This paper describes a theoretical approach to investigate the process of swelling clay materials, which depend on the microscopic (structure, texture, mineralogical composition, the nature and concentration of ions hydrating solutions) and macroscopic (applied voltage, anisotropy, humidity, and initial water content) properties.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. При дослідженнях процесу набухання глин зазвичай використовують три типи підходів.

Для матеріалів, які сильно набухають і які мають у собі підвищені кількості смектіту, найбільш часто використовують теорію подвійного зарядженого електричного шару (ПЕШ). Вона базується на мікроскопічній характеристиці глинистих матеріалів та на властивостях електролітів.

Феноменологічний підхід спирається на поняття повної аспірації, в яку включається і поняття ефективного напруження. Цей тип підходу найбільш використовуваний в об'єднаних моделях, які базуються на різних законах витікання води або випаровування води в слабо пористому середовищі.

Найбільш використовуваними є теоретичні підходи до набухання глинистих матеріалів, які підпадають обмеженому насиченню. Теоретичні підходи або встановлюються для фази граничної стабілізації яка відповідає найбільш чітко вираженому набухання, або спонукають використовувати час набухання.

Аналіз досліджень і публікацій. Глинисті матеріали мають дефіцит позитивних зарядів, що обумовлено ізоморфним заміщенням іонів. Електричний заряд твердої речовини породжує електростатичні властивості на поверхні розподілу тверде – рідина. Для забезпечення електронейтральності цей заряд компенсується хмаринкою іонів в розчині, яка розташовується поблизу від зарядженої поверхні. Утворення подвійного зарядженого шару викликає набухання або тиск набухання глинистих матеріалів. Властивості цього подвійного шару залежать від властивостей глинистих матеріалів, а також і від хімічного складу гідратуючого розчину. Більшість дослідників використовують метод подвійного шару для оцінки набухання бентонітів, призначених для складування радіоактивних відходів, де добре співпадають теоретичні розробки і практичні дані [1–4].

Розподіл іонів навколо глинистих лусочок може бути визначеним за допомогою теорії подвійного дифузного ПЕШ.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка теоретичних підходів до дослідження процесу набухання глинистих матеріалів, які підпадають обмеженому насиченню.

Викладення матеріалу та результати. За походженням електрична теорія вважає, що подвійний шар складається із двох шарів: одного фіксованого шару зв'язаного з твердою фазою і одного дифузного – поблизу глинистих часточок. Притягнення катіонів поверхнею глинистих часточок викликає зміну концентрації іонів у приповерхневому шарі часточок. Ці змінні величини концентрацій у залежності від потенціалу розподілені в подвійному шарі у відповідності з методами статистичних розрахунків Больцмана:

$$n_i = n_0 \cdot \exp\left(\frac{-z_i \cdot e \cdot \psi}{K_b \cdot T}\right), \quad (1)$$

де n_i – кількість іонів в одному метрі кубічному (іон/м³); z_i – валентність іона; e – заряд електрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); ψ – електричний потенціал, (В); K_b – константа Больцмана ($13,8 \cdot 10^{-24}$ Дж/К); T – абсолютна температура (°К).

Це рівняння описує розподіл іонів як функцію електричного потенціалу. У випадку подвійного шару цей потенціал не є сталим, він зменшується зі збільшенням відстані до поверхні часточки. Він описується, в одній розмірності, рівнянням Пуассона-Больцмана, яке може бути написане в спрощеному варіанті:

$$\psi(x) = \psi_0 \cdot \exp(-K_d \cdot X), \quad (2)$$

де

$$\hat{E}_d^2 = \frac{2z^2 e^2}{\varepsilon K_b T} n_0.$$

Отже, електричний потенціал експоненційно зменшується у випадку, коли віддаляються від поверхні листочка. Підставлення рівняння (2) в рівняння (1) дозволяє нам розрахувати профіль щільності (густини) катіонів або аніонів в залежності від відстані до поверхні розподілу тверде-рідина. Дослідники, зазвичай,

говорять про товщину подвійного шару, яка відповідає відстані K_d^{-1} , де $\psi = \psi_0/e$, тобто мова йде не про реальну товщину, а про величину яка дозволяє зробити наочним ефект впливу різних параметрів на стиснення подвійного шару.

Товщина подвійного дифузного шару остаточно визначається наступним рівнянням

$$H_{DC} = \sqrt{\frac{\varepsilon K_b T}{2n_0 z^2 e^2}} m \quad (3)$$

Згідно з теорією подвійного шару легке збільшення концентрації розчину викликає зменшення товщини подвійного дифузного шару. В той же час, якщо валентність іонів електроліту зростає, товщина подвійного дифузного шару зменшується; підвищення діелектричної сталості викликає збільшення товщини подвійного електричного шару. Крім того, підвищення температури підвищує товщину подвійного дифузного шару.

Найбільш делікатними питаннями залишається перехід мікро – макро. Приймають, що глинистий матеріал є чистим і однорідним (гомогенним), (розміри лусочок і відстань між ними – ідентичні) і що лусочки залишаються паралельними протягом процесу набухання.

У цьому випадку, міжлусочкова відстань $2d$ зв'язується з індексом пористості e_v таким наближенням [5]

$$d = \frac{e_v}{\rho_s S}, \quad (4)$$

де

$$S = \frac{2S_f N_f}{\rho_s V_s}, \quad (5)$$

ρ_s та V_s є відповідно густина та об'єм твердих часточок, S_f та N_f є відповідно поверхня лусочок та число глинистих лусочок.

Якщо глина не є чистою і має в собі фракцією θ глинистих мінералів, треба писати:

$$d = \frac{e_v}{\rho_s S \theta}. \quad (6)$$

Вважаючи, що глинистий матеріал складається із матеріалів набухаючих і ненабухаючих, загальну питому поверхню можна розрахувати:

$$S = C_{наб} \times S_{наб} + (1 - C_{наб}) \times S_{ненаб},$$

де S – питома поверхня загальна; $C_{наб}$ – об'ємна концентрація набухаючих матеріалів; $S_{наб}$ – питома поверхня набухаючих мінералів; $S_{ненаб}$ – питома поверхня ненабухаючих мінералів.

Звертаючись до рис. 1, можна визначити, що власне набухання глинистих матеріалів ε_p описується наступним рівнянням

$$\varepsilon_p = (V_v + V_{SW}) / V_g, \quad (7)$$

де V_v – об'єм пустот; V_{SW} – додатковий об'єм за рахунок набухання; V_g – об'єм матеріалу, який може набухати.

Набухання, яке проявляється (повне), може бути визначено за формулою:

$$E_a = V_{SW} / (V_c - V_{SW}). \quad (8)$$

Використовуючи рівняння (8), можна визначити власне набухання глинистих матеріалів

$$\varepsilon_p = \frac{(1 + \varepsilon_p) \cdot \rho_s - \rho_d}{C_g}, \quad (9)$$

де V_v – об’єм порожнечі; V_g – об’єм набухаючих матеріалів; V_s – об’єм твердих часточок; V_{ng} – об’єм матеріалів, які не набухають; ρ_s та ρ_d – густина твердих часток та густина сухого відповідно.

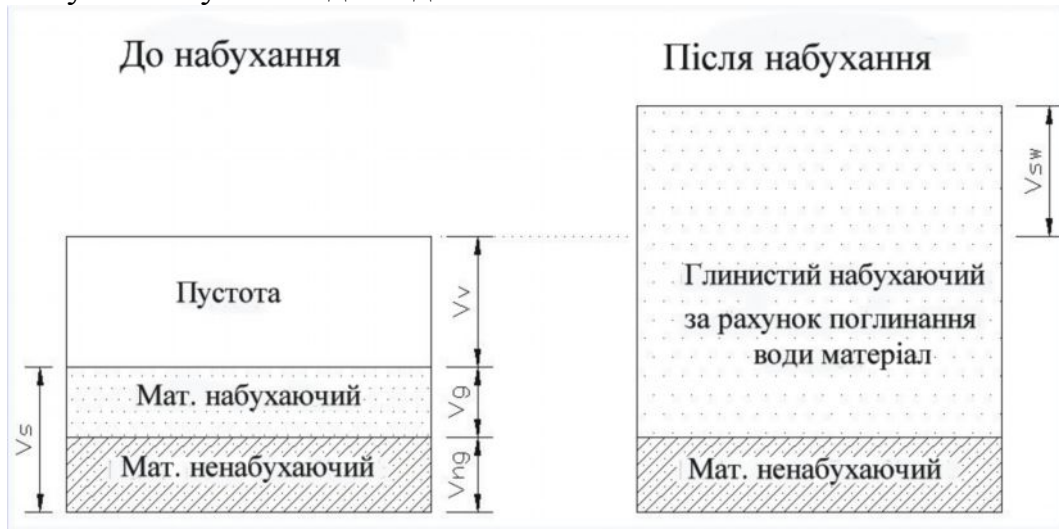


Рис. 1. Набухання при змочуванні

Вважаючи, що міжлусочкове набухання ε_m є рівним власному набухання глинистих матеріалів (рис. 2), перехід мікро-макро можна описати наступним рівнянням

$$\varepsilon_m = \varepsilon_p. \quad (10)$$

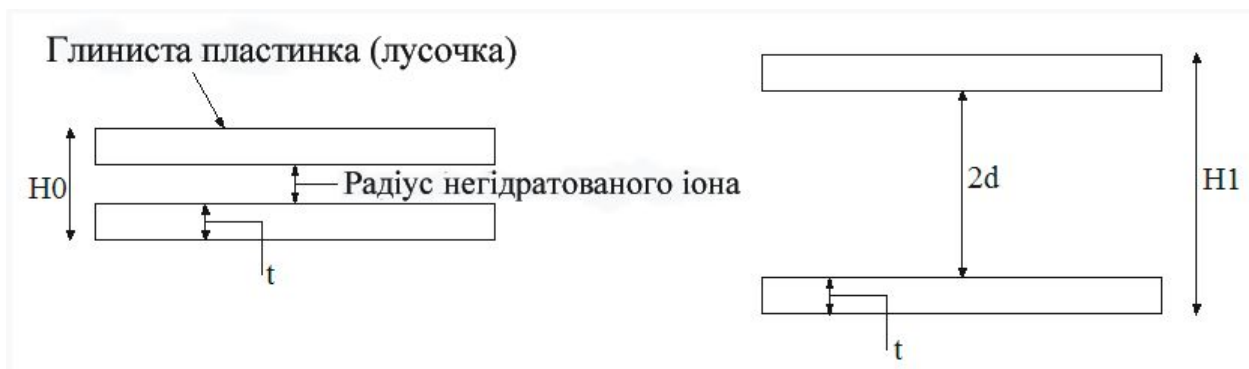


Рис. 2. Набухання на мікроскопічному рівні

Міжлусочкове набухання ε_m може бути визначене наступним рівнянням:

$$\varepsilon_m = (H_1 - H_0) / H_0 = (d - R_{\text{іон}}) / (t + R_{\text{іон}}).$$

Для того щоб розрахувати тиск набухання у випадку, коли уявне (умовне) набухання дорівнює нулеві (коли густина сухого є сталою), для глинистих ма-

теріалів виконують розрахунок міжчасточкового набухання неявного для того, щоб встановити результуючі сили $F_R(d)$.

Ця процедура розрахунків приводить нас до думки, що якщо уявне набухання є нуль, то завжди присутнє мікроскопічне неявне набухання.

Для повної картини необхідно виконати теоретичні дослідження по впливу тиску на процеси набухання глин.

Ці розробки призначені для вивчення ненасиченого середовища, обумовленого аспірацією. Вважають що загальний тиск, який викликається цією аспірацією, є ізотропним. На розгляд пропонується два типи моделей.

Модель ефективного напружування.

Цей підхід базується на принципі, який вважає що в середовищі пористому, насиченому і неактивностатному, прикладена напруга дорівнює сумі тисків внутрішньопорового тиску підтримуваного водною фазою P та ефективною напругою, яка передається твердою фазою σ'

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - P\delta_{ij}. \quad (11)$$

Якщо враховують напругу ефективну, то відзначають, що змочування глинистих матеріалів викликає зниження ефективної напруги, а потім набухання. Це те, що не спостерігалось експериментально для напружень, які перевищували певні межі. Для нульової напруги спостерігалось повне руйнування глинистих проб, коли їх занурювали у воду. Це руйнування також не може бути поясненим через поняття ефективної напруги.

Модель пружно-пластичного напруження в ненасиченому середовищі.

Використання пружно-пластичної моделі для ненасиченого середовища дозволило пояснити багато явищ пов'язаних зі зростанням когезії разом із зростанням тиску консолідації; розвиток оборотного набухання як наслідок зниження аспірації під слабкою напругою обтиснення; руйнування ґрунтів коли аспірація зменшується під впливом зміни сил напруги обтискування; об'ємна необоротна деформація для аспірації, яка переходить межі пружної аспірації.

Якщо зміна напруги або аспірації вийшла за зону пружності, відбувається необоротна деформація або необоротне твердіння матеріалу, яке провокує еволюцію навантаженої поверхні.

Висновки

1. Амплітуда меж набухання знаходяться під впливом пріоритетів мікроскопічних та макроскопічних факторів. Ці різні фактори показують, що корегувати макроскопічну поведінку глин не вивчивши мікроскопічні характеристики, важко.

2. Модель подвійного шару є базовою моделлю, що пояснює явища на макроскопічному рівні. Використання цієї моделі буде переважним для глинистих ґрунтів у випадку, коли добре знають характеристику глинистих мінералів.

3. Теоретичні розробки моделей набухання напряму зв'язані з дослідженнями, виконаними в лабораторіях. Вони об'єднують мікроскопічні дослідження і повинні враховувати експериментальні результати.

Список літератури

1. R. Komine et N. Ogata. Prediction for swelling characteristics of compacted bentonite. Canadian Geotechnical Journal, 33, pages 11-22, 1996.
2. F.T. Madsen et M. Muller-Vomnoos. Swelling pressure calculated from mineralogical properties of a Jurassic opalinum shale, Switzerland. Clays and Clay Minerals, 33, pages 109-129, 1985.
3. J.K. Mitchell. Fundamentals of soil behavior, pages 111-130. Number 2. New-York, John Wiley & Sons edition, 1993.
4. R.N. Yong et A.M.O. Mohamed. A study of particle interaction energies in wetting of unsaturated expansive clays. Canadian Geotechnical Journal, 29, pages 1060-1070, 1992.
5. L. Dormieux, P. Barboux, O. Coussy, et, P. Dangla. A macroscopic model for the swelling phenomenon of a saturated clay. European Journal of Mechanics of solids, 14 (6), pages 981-1004, 1995.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.А.
Надійшла до редакції 21.03.2012*

УДК 622.245.23

© Р.В. Рачкевич, А.С. Величкович, В.В. Гриців, А.А. Козлов, І.О. Рачкевич

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ У КРИВОЛІНІЙНОМУ СТОВБУРІ СВЕРДЛОВИНИ ІЗ ВИРОБКАМИ СТІНОК

В статті проаналізовано напружено-деформований стан бурильної колони у криволінійній ділянці свердловини, на стінках якої утворилися жолоб або каверна. Додатково визначено силу взаємодії бурильної колони із дном жолоба або каверни.

В статье проанализировано напряженно-деформационное состояние бурильной колонны в криволинейном участке скважины, на стенках которой образовались желоб или каверна. Дополнительно определено силу взаимодействия бурильной колонны с дном желоба или каверны.

In this article deflected mode of drill column in curved section of borehole is analysed. At that it is considered, that chute or rock cavity is present on a side of hole. In addition strength interaction between the drill column and the bottom of chute or rock cavity is defined.

Буріння свердловин для видобування нафти і газу часто супроводжується непередбачуваними зупинками технологічного процесу. Так у БУ «Укрбургаз» за період з 2007 по 2009 рр. сталося 73 ускладнення та 14 аварій. Із них 39 пов'язано із утворенням жолобних виробок та порушенням цілісності стінок стовбура, що становить 45 % від загальної кількості ускладнень та аварій.

Наприклад, 4-го квітня 2007 р. на свердловині № 300 Веселівської площі після підйому бурильної колони виявилось, що в стовбурі залишилась компонувка низу колони та бурильні труби діаметром 127 мм довжиною 38 м. Причиною роз'єднання бурильної колони було потрапляння її в жолобну виробку.

27 листопада 2007 року проводилось пророблення стовбура свердловини № 4 Чкалівської площі. В ході підйому бурильної колони, при знаходженні долота на глибині 1340 м, відбулося прихоплення внаслідок потрапляння в жолобну виробку.