

## ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ХВИЛЬОВІ ПРОЦЕСИ В ПОРИСТИХ НАСИЧЕНИХ РОЗЧИНОМ ЕЛЕКТРОЛІТУ ТІЛАХ

Твардовська С. Р.

Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача Національної академії наук України, м. Львів,  
вул. Дудаєва 15,  
sofi.lviv@gmail.com

В останні десятиліття в науковій літературі значна увага надається вивченню ефектів взаємодії механічних та електромагнітних процесів в пористих тілах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Одним з аспектів такого дослідження є вивчення впливу зовнішнього постійного електричного поля на хвильові механоелектромагнітні процеси. Такі дослідження стимулювала перспектива практичного використання дії зовнішнього електричного поля на сейсмічне зондування з метою підвищення його інформативності [2, 3]. У перших теоретичних роботах цього напрямку дію електричного поля пов'язували лише із його взаємодією зі збуреннями зарядової системи пористого тіла. Однак на електромагнітні поля накладали умови, які обмежували область використання отриманих результатів. В роботі [10] показано, що для слабоконсолідованих пористих матеріалів (грунти) вагомим значення набувають, зокрема, електрохімічні механізми впливу поля.

У цій доповіді для консолидованого статистично однорідного та ізотропного насиченого пористого середовища (пористість – відкрита, матеріал скелету – неферомагнітний діелектрик, порова рідина – водний розчин електроліту), за обмеження тільки силовою взаємодією зовнішнього постійного електричного поля з зарядовою системою тіла, розглядаємо ефекти впливу поля на параметри хвильових процесів, взаємодію поперечної та поздовжньої хвиль, електросейсмічний та сейсмоелектричний ефекти в залежності від характеристик середовища.

За вихідну взято систему рівнянь електромагнітної механіки пористого насиченого тіла, записану у двоконтинуумному наближенні за урахування наявності електричного поля, створеного зовнішніми джерелами [11]. Ця система рівнянь включає взаємозв'язані рівняння руху порової рідини та скелету

$$\alpha_{10}\rho_0^{(1)}\frac{\partial^2\vec{u}^{(1)}}{\partial t^2} = \frac{\alpha_{10}^2}{\beta}\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{u}^{(1)}) + \frac{\alpha_{10}\alpha_{20}(1-\nu_f)}{\beta}\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{u}^{(2)}) + \vec{R} + \vec{R}_m + \alpha_1\vec{F}_\Lambda^{(1)},$$

$$\alpha_{20}\rho_0^{(2)}\frac{\partial^2\vec{u}^{(2)}}{\partial t^2} = \alpha_{20}G_f\Delta\vec{u}^{(2)} + \frac{\alpha_{20}\alpha_{10}^2(1-\nu_f)}{\beta}\cdot\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{u}^{(1)}) +$$

$$+ \alpha_{20}\left(K_f + \frac{1}{3}G_f - \frac{\alpha_{10}\alpha_{20}}{\beta}(1-\nu_f)\right)\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{u}^{(2)}) - \vec{R} - \vec{R}_m + \alpha_2\vec{F}_\Lambda^{(2)} + \vec{R}_\Lambda^{(2)} \quad (1)$$

за урахування сил міжфазної взаємодії в'язкої та пористої природи (відповідно сили  $\vec{R} = A\left(\frac{\partial u^{(2)}}{\partial t} - \frac{\partial u^{(1)}}{\partial t}\right)$  та  $\vec{R}_m = \rho_{12}\left(\frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial t^2}\right)$ ) і пондеромоторних сил  $\vec{F}_\Lambda^{(j)}$ ,  $\vec{R}_\Lambda$  та рівнянь електромагнітного поля

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}, \text{rot}\vec{H} = \vec{J}_M + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}, \text{div}\vec{D} = \rho_{eM}, \text{div}\vec{B} = 0, \quad (2)$$

в яких вплив механічного руху на електромагнітне поле враховують модифіковані поля електричного заряду  $\rho_{eM}$  та густини електричного струму  $\vec{J}_M$ , який включає також сейсмоелектричні ефекти  $E$  та  $I$ . Зауважимо, що у рівняннях (1)-(2) використано загальноприйняті позначення фізичних величин [11].

При конкретних дослідженнях враховано також, що ефективні макроскопічні характеристики пористих насичених тіл залежать від характеристик складових компонент та структурних параметрів тіла. Між окремими характеристиками середовища (пористістю та проникністю, проникністю та звивистістю) також існують зв'язки, які, як правило, визначаються експериментальним шляхом для певних типів зразків пористих матеріалів.

За використання вказаних рівнянь досліджено закономірності впливу зовнішнього постійного електричного поля на поширення та взаємодію плоских поздовжньої та поперечної механоелектромагнітної хвиль в безмежному середовищі. Встановлено, що дія поля, вектор напруженості якого складає з хвильовим вектором хвилі кут  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ , приводить до ефективної анізотропії середовища, яка проявляється, зокрема, у взаємодії поздовжніх та поперечних хвиль. Збурення зовнішніми чинниками поздовжньої хвилі в такому середовищі приводить також до генерації поперечної хвилі і навпаки. У загальному випадку у тілі поширюються два типи поздовжніх хвиль (першого і другого роду), поперечна та електромагнітна, модифіковані механоелектромагнітною взаємодією. Кожна з хвиль має дві компоненти – механічну та електромагнітну, закони поширення яких ідентичні.

Отримані та кількісно проаналізовані дисперсійні рівняння для поздовжньої та поперечної механоелектромагнітних хвиль. Встановлено, що

постійне електричне поле може вагомо впливати на характеристики поздовжньої хвилі. При цьому наведено систему безрозмірних параметрів, які характеризують вплив зовнішнього електричного поля, зарядової системи тіл (електрокінетичної активності), міжфазової взаємодії, тощо. Найбільші кількісні зміни характеристик хвиль мають місце для поля, вектор напруженості якого паралельний хвильовому вектору. Зміна напруження поля на  $180^\circ$  приводить до зміни знаку поправки до коефіцієнтів загасання хвилі першого роду, спричиненої полем. За певних умов коефіцієнт загасання хвиль може ставати рівним нулеві і навіть змінювати знак. Впливом поперечного електричного поля ( $\alpha = 90^\circ$ ), як правило можна знехтувати. Параметри, (фазова швидкість та коефіцієнти загасання) поперечної квазіпружної хвилі для розглянутої моделі пористого тіла слабо залежить від параметрів зовнішнього електричного поля. Для практики сейсмічних досліджень така залежність є нехтовною. Електрокінетична активність пористого тіла пов'язана із наявністю зарядів подвійного електричного шару в околі поверхні контакту скелет-порова рідина. Параметри всіх вказаних хвиль вагомо залежать від електрокінетичної активності середовища. Зокрема, коефіцієнти загасання поперечних хвиль, модифікованих механічної та електромагнітної хвиль зростають з ростом електрокінетичної активності, а їх фазові швидкості – зменшуються.

Розглянуто також вплив зовнішнього постійного електричного поля на сейсмоелектричний ефект, спричинений поздовжніми або поперечними хвилями. Встановлено, що для поздовжньої хвилі вплив поздовжнього поля приводить до вагомого (на порядки) збільшення сейсмоелектричної різниці потенціалів. Причиною цього є вклад сейсмоелектричного ефекту  $I$ .

Представляє також практичний інтерес вивчення впливу зовнішнього гармонічного за часом електричного поля на механоелектромагнітні процеси в пористому тілі. У зв'язку з цим розглянута задача про вимушені товщинні коливання безмежного пористого насиченого шару під впливом однорідного гармонічного електричного поля (електросейсмічний ефект). Встановлено, зокрема, що фазові характеристики таких коливань є чутливими до пористості та проникності тіла.

Розглянута задача про перетворення механоелектромагнітної поздовжньої хвилі за нормального падіння на межу контакту пористих тіл в постійному електричному полі. Встановлено, що дія такого поля приводить, як правило, до збільшення амплітуди генерованої хвилі другого роду та зміни (збільшення або зменшення) амплітуди відбитої хвилі. Відносний вплив електричного поля більш вагомий для контакту слабконтрастних за механікою середовищ.

Отримані результати досліджень можуть представляти практичний інтерес для лабораторних досліджень пористих матеріалів та геофізичних польових досліджень.

1. *Кондрат В. Ф., Твардовська С. Р.* Вплив зовнішнього електричного поля на параметри механічних хвиль сейсмічних частот у пористих насичених тілах. // Фіз.- мат. моделювання та інформ. технології. – 2009. – Вип.10. – С. 56-65.
2. *Основы сейсмоэлектроразведки / О. А. Потапов, С. А. Лизун, В. Ф. Кондрат и др.* – Москва: Недра, 1995. – 268 с.
3. *Способ геофизической разведки.* А. с. 1045190 СССР МКИ G 01 V 3/08 / *Д. Н. Ляуж, А. И. Бойко, В. Н. Бойко, Н. Н. Фрейк* (СССР). – № 3371404/18-85; Заяв. 23.12.81; Опубл. 25.06.1983. Бюл. № 36. – 2 с.
4. *Мигунов Н. И.* О распространении продольных упругих волн в грунтах с электрокинетическими свойствами// Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1981. – №3. – С. 47-54.
5. *Светов Б. С.* Основы геоэлектрики. М.: Издательство ЛКИ. – 2008. – 656 с.
6. *Garambois S., Dietrich M.* Seismoelectric Wave Conversion in Porous Media: Field Measurements and Transfer Function Analysis // *Geophysics.* – 2001. – Vol. 66, No 5. – P. 1417-1430.
7. *Butler K. E., Russel R. D., Kepic A. W. und Maxwell M.* Measurement of Seismoelectric Response from a Snallow Boundary // *Geophysics.* – 1996. – Vol. 61, No 6. – P. 1769-1778.
8. *Pride S, Haartsen M.* Electro seismic Wave Properties // *The Journal of the Acoustical Society of America.* – 1996. – Vol. 100, No 3. – P. 1301-1315.
9. *Sobotka J.* Proseesy elektroakustyczne i elektro sejsmiczne wzbudzone w skałach osadowych // *Nafta-Gaz.* – 2004, R. 60, №4. - S. 181-189.
10. *Подбережный М. Ю.* Особенности взаимодействия многофазных микро-структурированных сред с акустическими и электрическими полями. – Автореферат дис. к. ф.-м. наук. – Новосибирск, 2009. – 17 с.
11. *Фізико-математичне моделювання складних систем / Я. Й. Бурак, Є. Я. Чапля, Т. С. Нагірний та ін.; під ред. Я. Й. Бурака, Є. Я. Чаплі.* – Львів:СПОЛЮМ, 2004. – 264 с.

**THE INFLUENCE OF EXTERNAL ELECTRIC FIELD ON WAVE  
PROCESS IN POROUS MEDIUM SATURATED BY ELECTROLYTIC  
SOLUTION**

*The investigation of a plane mechanoelectromagnetic waves, seismoelectric and electro seismic effects, transformation of waves on boundary contact of the porous bodies depending on the parameters of external electric field, electrokinetic activity and characteristics bodies are made.*