

ster.]. – M.: Izdatelstvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2002. – 394 p.

5. Рудаков Д.В. Прогнозування фізико-хімічних змін водотривких порід під впливом накопичувачів рудничних вод (на прикладі Кривбасу) / Рудаков Д.В., Воробйова Т.І. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – №5. – С. 63–66.

Rudakov D.V. Prediction of physical and chemical changes of waterproof rocks under the influence of mine water storage ponds / Rudakov D.V., Vorobyova T.I. // Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnynchoho universytetu. – 2008. – No.5. – P. 63–66.

6. Spizzichino K. Numerical Groundwater Modeling / Spizzichino K., Walton W. C. – CRC Press, 1989. – 272 p.

7. McDonald. ModFlow. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. Open-file report / McDonald, Harbaugh M.C., Harbaugh A.W. // U.S. Geological Survey – 1988. – P. 83–875.

Розроблено чисельну модель, яка враховує неоднорідність гідрогеологічних параметрів та комплексно відтворює планово-профільну фільтрацію в межах проникних та роздільних шарів в умовах їх осушення і повторного насичення. Згідно з результатами моделювання виконано оцінку показників гідродинамічного режи-

му в природних умовах на ділянці розташування об'єктів гірничої промисловості у Кривбасі. На основі оцінки відхилень компонент балансу доведено здатність моделі до збереження адекватності у фактичному діапазоні вхідних даних при рішенні прогнозних задач.

**Ключові слова:** чисельне моделювання, фільтраційна неоднорідність порід, планово-профільна фільтрація, повторне насичення, гідродинамічний режим

The numerical model that takes into proper account the heterogeneity of hydrogeological parameters and describes 3D ground water flow in aquifers and confining layers after their dewatering and rewetting was developed. The factors influencing the natural hydrodynamic behavior at a site affected by mining enterprises of Kryvbass were estimated by the results of modeling. The ability of the model to maintain adequacy within the actual range of input data was proved by the assessment of budget component deviations while solving predictive problems.

**Keywords:** numerical modeling, rock heterogeneity, 3D ground water flow, rewetting, hydrodynamic behavior

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук І.А. Ковалевської. Дата надходження рукопису 23.03.11

УДК 622.272:622.257.1

М.І. Ступнік, канд. техн. наук, доц.

Криворізький технічний університет, м. Кривий Ріг, Україна,  
e-mail: kpv\_p@hotmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЛИНОВМІСНИХ ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД

M.I. Stupnik, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

Kryvyi Rih Technical University, Kryvyi Rih, Ukraine,  
e-mail: kpv\_p@hotmail.com

## RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ARGILLIFEROUS BEARING STRATA

Виконаними дослідженнями встановлено, що збільшення вологості глинистих порід провокує набухання і максимізацію пластичності порід, а зменшення вологості призводить до виникнення явища їх усадження, що негативно впливає на технологію підземного видобутку корисних копалин.

**Ключові слова:** глинисті породи, набухання, підземний видобуток, вміст води, зсув, моделювання, випуск руди

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Глини є широко розповсюдженими в геологічному доквіллі і покривають загально біля 42% поверхні земної кори. У мікроскопічному вимірі глини представлені об'єднанням часток розміром менше за 2 μm, заряджених негативно, таких як смектит, іллїт і каолінїт. Присутність цих мінералів робить глини дуже чутливими до поляризованих молекул води. Ця чутливість виражається шляхом набухання, різкого підвищення пластичності та змінами інших механічних властивостей.

Вирішальним чинником, який обумовлює варіації об'єму (набухання) та пластичних властивостей, є

вміст води. Збільшення вологості провокує феномен набухання і максимізацію пластичності, її зменшення – явище усадження.

Варіація об'єму глини і їх пластичних властивостей значною мірою відбувається під впливом мікроскопічних і макроскопічних чинників. У мікроскопічному вимірі ці фактори є досить складними і залежать, головним чином, від мінералогічних властивостей глинистого матеріалу і хімічних властивостей гідратуючих рідин.

Дослідження мікроскопічних явищ є необхідними для глибокого розуміння та інтерпретації явищ, що спостерігаються.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел дозволив визначити чотири головні фактори, які пояснюють причини набухання: гідра-

тація в результаті адсорбції; гідратація в результаті осмосу; гідратація за рахунок проникнення води в капіляри; хімічні перетворення.

Лефевбр та Ляжуді [1] виконали дослідження з вільного набухання для різних типів глин з різною густиною заряду і показали зниження потенціалу набухання зі зростанням щільності заряду.

Гаск-Барб'є [2] здійснив трьохвимірні досліди з глинистими матеріалами із Бюре під ізотропним тиском 12 МПа. Виходячи з результатів цих дослідів, автор пояснив явище набухання міжлусочковим іонним обміном, а не процесами осмосу.

Еволюція механічної поведінки глинистих матеріалів у залежності від концентрації катіонів  $K^+$ ,  $Na^+$  та  $Ca^{2+}$  в хімічних розчинах вивчалась у роботах [3, 4]. Результати їх експерименту показують, що  $KCl$  викликає контракцію злипання порід. Між тим, опір простому стисненню підвищується до певної концентрації  $K^+$ , а потім зменшується. Пружна частина (матеріалу) не зазнає контракції, у протилежність пластичній частині, і при максимумі опору.

Навпаки, витримування глинистих матеріалів у розчині  $CaCl_2$ , який має ту ж активність, що і  $KCl$ , не викликає ніяких змін механічних параметрів.

Автори пояснили зниження твердості (ригідності) матеріалів екстракцією зв'язаної води, що приводить до модифікації внутрішньої структури породи. Навпаки, екстракція вільної води викликає зниження порового тиску і ніяк не впливає на зміну ригідності породи.

У той же час, анізотропність набухання та анізотропність тиску набухання в залежності від розшарування матеріалу мало досліджені.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є встановлення закономірностей варіацій об'єму (набу-

хання) та пластичних властивостей текучості глинистих порід у залежності від їх насиченості вологою.

**Викладення матеріалу та результати.** Більшість експериментальних досліджень було здійснено зі зразками циліндричної форми, приведеними в контакт з водою, і виключно з осьовою (аксіальною) орієнтацією зразка відносно стратифікаційних шарів проби або до напрямку ущільнення глинистих ґрунтів. Анізотропія набухання  $a_g$  і анізотропія тиску набухання  $a_{pg}$ , співвіднесені з часом набухання, можуть бути виражені відношеннями

$$\dot{a}_g = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}; \quad \dot{a}_{pg} = \frac{P_z}{P_x},$$

де показано співвідношення між набуханням перпендикулярним і паралельним до плану переважного розшарування матеріалу, а також співвідношення тиску набухання в напрямках перпендикулярному і паралельному переважному розшаруванню матеріалу.

Виконаними дослідженнями підтверджено явище ізотропії набухання в горизонтальних напрямках стратифікаційних шарів глинистих порід. На противагу, у напрямку нормалі до стратифікаційних шарів спостерігалась добре виражена анізотропія набухання, яка зростала при збільшенні вмісту набухаючих мінералів, таких як смектит.

На відміну від глинистих ґрунтів, для глинистих порід коефіцієнт анізотропії набухання є більш значним. Рисунок показує, що орієнтація лусочок та випадковість їх розташування в глинистих ґрунтах не мають якогось привілейованого напрямку.

У той же час, глинисті породи є більш орієнтованими і це завдяки трансформаціям осажденної породи під впливом процесу діагенезу, який приводить до компактності і цементації осаду.



ґрунт глинистий



порода глиниста

Рис. Різний перехід в компактний стан для глинистого ґрунту і глинистої породи

Глинисті породи були видані на денну поверхню з гор. 1260–1220 м. Уся проба була висушена в спеціальній сушильній шафі при температурі 100–120°C. Після чого визначили кут внутрішнього те-

ртя, кут природного укусу, а також кут укусу сухих глинистих порід у залежності від величини навантаження. Результати випробувань наведені в таблиці.

Результати випробувань глинистих порід

Кількість глинистих порід, кг	Кількість води, що приміщується до глинистих порід, л	Кут зсуву (град.) глинистих порід у залежності від зовнішнього навантаження (кг)				
		0	2	6	11	16
0,550	0,000	30	25	20	17	13
0,650	0,100	70	47	32	29	21
0,700	0,200	80	60	55	40	30
0,750	0,300	85	80	65	55	30
1,000	0,400	85	80	60	52	48
1,100	0,500	10	10	10	10	10
1,200	0,600	10	10	10	10	10

Для визначення текучості глинистих порід у залежності від її насиченості вологою, у глину з вологістю 0% додавали шахтну мінералізовану воду ПАТ „ЄВРАЗ СУХА БАЛКА“, при цьому вода і глина завантажувались у змішувач та перемішувались до однорідної маси протягом 20–30 хв.

Кожен дослід повторювався від 5 до 8 разів, при цьому збіжність за результатами досліджень складала 92%.

**Висновки.** За результатами досліджень встановлено, що при насиченні вологою більше 50% глинисті породи починають пливти без зовнішнього навантаження. При насиченості глинистих порід від 10 до 40% та зовнішньому навантаженні 11 кг, кут зсуву глинистих порід збільшується з 17° до 55°. Зі збільшенням зовнішнього навантаження до 16 кг кут зсуву глинистих порід зменшується з 30°–85° до 13°–48° у залежності від насиченості вологою глинистих порід.

Таким чином, при моделюванні випуску руди на натуральних матеріалах, абсолютна насиченість глинистих порід повинна складати 40%, а в разі застосування еквівалентних матеріалів – 50%.

#### Список літератури / References

1. *Lefevbre I.* Determination des capacites d'echange des argiles, correlation avec certaines proprietes physico-chimiques / Lefevbre I., Lajudie A., – 1987. Note technique C.E.A, SESD/87.11.
2. *Gasc-Barbier M.* Etude des mecanismes de deformation de roches argileuses profondes: Apport de la micro structure et des analyses petrophysiques. / *Gasc-*

*Barbier M.* // These de Doctorat, Université de Paris VI – 2002, 212 p.

3. *Horsud P.* Interaction between shale and water-based drilling fluids: laboratory exposure tests give new insight into mechanisms and field consequences of KCl content / Horsud P., Sonstebo E.F. // Society of Petroleum Engineers, (48986) – 1998, 38 p.

4. *Sonstebo. E.F.* Effects of brines on mechanical properties of shales under different test conditions / Sonstebo E.F. – Eurock; 1996. 249 p.

Виконаними дослідженнями встановлено, що збільшення вологості глинистих порід провокує набухання і максимізацію пластичності порід, а зменшення вологості приводить до виникнення явища їх осідання, що негативно впливає на технологію підземної добычи корисних копалин.

**Ключевые слова:** глинисті породи, набухання, підземна добыча, вміст вологи, сдвиг, моделювання, випуск руди

Due to the carried research it has been determined that the increase of moisture in clay rock provokes a swelling phenomenon and ore plasticity maximizing; the decrease of moisture causes the rock subsidence phenomenon, which affects negatively the underground mining technology.

**Keywords:** argillaceous rock, swelling, underground mining, moisture content, displacement, simulation, production of ore

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.О. Калініченком. Дата надходження рукопису 18.02.11.