

УДК 622.272:622.257.1

Ступнік М. І., к.т.н., професор (Криворізький технічний університет, м. Кривий Ріг), Маланчук Є. З., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЛИНИСТИХ ПОРІД, ВЗАЄМОДІЮЧИХ З ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИМИ ВОДАМИ ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ ШАХТ КРИВБАСУ

Виконані лабораторні дослідження різних типів глин відповідно до структурної будови наносів, що дозволяє враховувати фізико-механічні властивості глинистих порід, що проникли на глибокі горизонти шахт Криворізького басейну при розробці ефективних способів боротьби з проривами обводнених глин в очисний простір і гірничі виробки.

Ключові слова: глини, глибокі горизонти шахт, Криворізький басейн, боротьба з проривами.

Выполнены лабораторные исследования различных типов глин в соответствии со структурным строением наносов, позволяющие учитывать физико-механические свойства глинистых пород, проникших на глубокие горизонты шахт Криворожского бассейна при разработке эффективных способов борьбы с прорывами обводненных глин в очищенное пространство и горные выработки.

Ключевые слова: глины, глубокие горизонты шахт, Криворожский бассейн, борьба с прорывами.

Laboratory research of different clay types according to the alluvium structure which allows taking into account physic and mechanical properties of clayish rocks of deep horizons of Kryvbass mines and effective ways developing prevention of watered clay breakthrough into mine faces and workings have been carried out.

Keywords: clay, deep horizons, Kryvbass, fighting breakouts.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей наносних глинистих порід полягають у вивченні процесів обводнення, набухання, переходу глинистих порід у пластичний та в'язко-текучий стан та в теоретичному обґрунтуванні механізму вказаних процесів [1, 2]. Лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей глинистих порід виконано згідно з чинними методиками та Державними стандартами України. Для дослідження набухання глинистих порід використані наступні методи: попереднього набухання; паралельного набухання; подвійного набухання (подвійної одометрії); набухання з протидією; набухання при різних напруженнях.

Дослідження набухання глинистих порід виконано при різних умовах зволоження (прісна вода, сольові розчини, змінна вологість).

Аналіз досліджень і публікацій. У рекомендаціях з проведення заходів щодо запобігання проривам глинистих ґрунтів у діючі гірничі виробки, укладених І.Г. Ткачовим [3], зроблено припущення, що причиною проривів глини є гідростатичний тиск стовпа зволоженої глини, яка має природну вологість, вищу за межу пластичності. Якщо вологість нижча за межу пластичності, то глина практично безпечна за проривами.

Р.А. Бірюков [4] вважає, що основним чинником запуску в дію механізму прориву глин у діючі виробки є великий гірський тиск, що виникає в результаті зсування значних масивів гірських порід всякого боку, який видавлює глинисті породи, що заповнюють вироблений простір у діючі гірничі виробки. Відомо, що за високого тиску глини навіть з природним рівнем вологості під дією зусиль, які перевищують межу їх міцності, легко та швидко переходять у пластичний стан і переміщуються у гірничі виробки. При цьому обводненість глини складає 29-31%.

У роботі В.В. Єгошина [5] основною причиною проривів глин було названо їх скупчення на дні провалів. Ці обсяги глин, після обводнення в результаті розтавання снігу і льоду проникали у гірничі виробки при відробленні нижніх горизонтів.

В.І. Кравченко і М.М. Шило у своїй роботі [6] вказують, що розміри наслідків та інтенсивність проривів глини залежать від способу виїмки, стійкості основної покрівлі, кількості глинистих мас у виробленому просторі й у провалах, величини гірського тиску на глинисті маси.

Автори роботи підкреслюють, що глинисті маси, які прориваються у гірничі виробки, можуть бути у двох станах – густому (тістоподібному) і напіврідкому (пульпи консистенції від 1:1 до 1:6). У першому випадку глина значною мірою обезвожена, вона під дією динамічних ударів від обвалень порід всякого боку виштовхується в гірничі виробки; у другому випадку – дуже обводнена глина (або пульпа) проривається під дією динамічних ударів необвалених раніше вміщуючих порід або під дією власної ваги (гідростатичного тиску). Останній вид проривів глин є найбільш небезпечним.

Таким чином, основними факторами, які впливають на процес прориву обводнених глинистих порід у гірничі виробки є фізико-механічні властивості глин та фізичний стан вміщуючих порід.

Якщо властивості глинистих порід і їх зміни залежно від рівня зволоженості та тиску вивчались досить ґрунтовно, то фізико-механічні характеристики глин і глиновмісних порід, що проникають з поверхні у очисний простір діючих залізорудних шахт Криворізького басейну і знаходяться під дією гідратаційних високо мінералізованих шахтних вод, досліджені явно недостатньо.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження властивостей наносних глинистих порід Криворізького басейну, які проникають у вироблений простір глибоких горизонтів діючих шахт, та встановлення закономірностей зміни кута, коефіцієнту внутрішнього тертя і зчеплення від рівня вологості глинистих порід.

Викладення матеріалу та результати. Середній гранулометричний склад глинистих порід Кривбасу та їх технологічні властивості наведені у табл. 1 і табл. 2. Лабораторні дослідження дозволили встановити наступні закономірності.

Таблиця 1

Середній гранулометричний склад глинистих порід Кривбасу

Показники	Результати аналізів рядових проб глин					
	коричнево-бурі	буро-жовті	пальові верхні	жовто-бурі	пальово-нижні	середнє по розрізу
Наявність грубозернистих фракцій, %	–	0,12	0,04	0,17	0,32	0,15
Число пластичності	–	20,03	14,78	18,72	16,17	16,80
Наявність глинистих часточок, % (<0,005)	–	54,27	46,31	55,00	47,37	50,63
Результати аналізів лабораторно-технологічних проб						
Наявність грубодисперсних фракцій	0,52	0,07	0,0	0,16	0,45	0,18
Число пластичності	21,24	15,85	11,70	15,00	15,04	14,40
Наявність глинистих часточок, % (<0,005 мм)	54,44	59,44	44,00	57,32	48,48	–

Для Криворізьких глинистих порід характерні наявність різного роду включень (грубозернистих компонентів) і достатньо низькі числа пластичності, які характеризують можливість переходу їх у пластичний стан при певних ступенях зволоження. Наявність глинистих часточок (<0,005 мм) складає 46-55%, а суглинків і супісків – 45-54%.

Хімічний склад суглинків Кривбасу наведено у табл. 3. Встановлено, що переважними хімічними елементами глинистих порід є: SiO₂ (55-60%), Al₂O₃ (8,5-10%), CaO (9-12%) та Fe₂O₃ (3,2-4,2%). Вміст MgO складає 1,86-2,35%, TiO₂ – 0,72%.

Для дослідження фізико-механічних властивостей глинистих порід Криворізького регіону нами з різних глибин були відібрані проби, характеристика яких представлена у табл. 4 а характеристика сольового складу водних витяжок із цих проб – у табл. 5.

Таблиця 2

Технологічні властивості глинистих порід

Суглинки	Природна вологість, %	Чугливість до сушки	Повітряна лінійна усадка, %	При температурі випалювання +1000°C					
				полумнева усадка	об'ємна вага	водопоглинання		міцність, кг/см ²	
						при кімн. °	при кип'яченні	при стисненні	очікувана при стисненні
Буро-жовті	27,24	0,80	9,68	1,17	1,73	15,61	16,80	379	227
Пальові верхні	19,51	0,42	7,42	0,38	1,78	15,29	16,74	295	177
Жовто-бурі	24,86	0,80	9,10	0,87	1,79	12,41	14,52	396	236
Пальово-нижні	23,49	0,64	9,26	0,47	1,78	14,04	16,22	397	238
Червоно-бурі	23,82	0,98	9,72	0,78	1,85	10,56	11,68	275	165

Таблиця 3

Хімічний склад різновидів суглинків Кривбасу

Суглинки	Вміст компонентів, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	В.П.П.
Буро-жовті	55,3	8,5	0,7	3,71	12,0	1,98	2,0	15,71
Пальові верхні	57,0	10,07	0,72	4,14	8,87	2,35	2,05	14,10
Суглинки	Вміст компонентів, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	В.П.П.
Жовто-бурі	58,96	10,07	0,72	3,92	8,18	2,11	2,26	13,25
Суглинки	Вміст компонентів, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	В.П.П.
Пальово-нижні	60,12	8,68	0,72	3,14	9,4	2,11	2,19	12,72
Червоно-бурі	56,48	12,62		4,14	9,17	1,86	2,3	13,3

Характеристика зразків глин, відібраних для лабораторних досліджень та умови проведення досліджень

№ з/п	№ зразка	Місце відбору	Характеристика	Гідратуючий розчин
1	2714a	ш. "Ювілейна" горизонт 20,0 м	глина тверда структура – моноліт	Водопровідна вода
2	2714	ш. "Ювілейна" горизонт 1180,0 м	глина напівтверда структура – моноліт	Водопровідна вода
3	3380	Зона зсуву порушених пластів ш. "Ювілейна" рудника "Євраз Суха Балка"	суглинок тугопластичний структура – моноліт	вода №4377
4	3378		суглинок напівтвердий структура – моноліт	вода №4376
4a	3378		суглинок напівтвердий структура – моноліт	Прісна вода

Таблиця 5

Аналіз водних витяжок на 100 г сухого ґрунту

Катіони та аніони	№ проби					
	2714			2714a		
	ммоль	%	ммоль	%		
Na ⁺ +K ⁺	15,99	0,368	7,36	0,169		
Ca ²⁺	24,00	0,480	17,50	0,350		
Mg ²⁺	5,00	0,061	4,50	0,055		
Катіони	44,99	0,909	29,36	0,574		
Катіони та аніони	№ проби					
	2714			2714a		
	мг/кг	ммоль	%	мг/кг	ммоль	%
Cl ⁻	6250	17,60	0,625	780,0	2,20	0,078
SO ₄ ²⁻	12950	26,999	1,295	12750,0	26,56	1,275
HCO ₃ ⁻	240	0,40	0,024	370,0	0,60	0,037
CO ₃ ²⁻	–	–	–	–	–	–
Аніони	44,99	1,944	29,36	1,390		
Сухий залишок	2,900%	pH=7,6	1,986%	pH=7,6		

Насичення проб водою здійснювалось як прісною водою, так і шахтними водами. Зразок шахтної води з приповерхневих горизонтів № 4376

мав загальну мінералізацію (сухий залишок) 11860 мг при вмісті вираженому у мг-екв % аніонів: хлоридів – 80,7, сульфатів – 17,0 і катіонів: натрію – 77,3, магнію – 13,6, кальцію – 9,1. Тобто і приповерхневі води, і води глибоких горизонтів належать переважно до хлоридно-натрієвого типу, але мінералізація шахтних вод глибоких горизонтів майже у 10 разів більша.

У табл. 6 представлені результати дослідження фізичних характеристик з вологості, пористості та водонасиченості порід. В таблиці використано наступні позначення: W – вологість природна; W_L – вологість текучості; W_p – вологість пластичності; W_o – вологість насиченості; I_p – число пластичності, відсотки; I_a – індекс пластичності, частки одиниці; ρ – густина глинистих порід; ρ_d – об’ємна вага скелета глинистих порід; ρ_s – об’ємна вага часточок глинистих порід; e – коефіцієнт пористості, частки одиниці; S_r – індекс вологості або коефіцієнт водонасиченості, частки одиниці.

Таблиця 6

Загальні фізичні характеристики зразків червоно-бурих глин

№ з/п зразків	Показники										
	Вологість, част. од.				I_p , ч.о.	I_a , ч.о.	Густина, г/см ³			l , ч.о.	S_r , ч.о.
	W	W_L	W_p	W_o			ρ	ρ_d	ρ_s		
1	0,260	0,510	0,250	0,302	26,000	0,038	1,890	1,500	2,740	0,827	0,862
2	0,240	0,480	0,250	0,326	23,000	-0,043	1,790	1,440	2,730	0,891	0,735
№ з/п зразків	Показники										
	Вологість, част. од.				I_p , ч.о.	I_a , ч.о.	Густина, г/см ³			l , ч.о.	S_r , ч.о.
	W	W_L	W_p	W_o			ρ	ρ_d	ρ_s		
3	0,270	0,390	0,230	0,342	16,000	0,25	1,780	1,400	2,690	0,919	0,790
3a	0,270	0,390	0,230	0,342	16,000	0,250	1,780	1,400	2,690	0,919	0,790
4	0,270	0,390	0,230	0,350	16,000	0,250	1,760	1,390	2,690	0,941	0,772
4a	0,270	0,390	0,240	0,346	15,000	0,200	1,770	1,390	2,690	0,930	0,781

Дослідження механічного складу глинистих порід наведено у табл. 7.

Висновки. Співставлення загальних фізичних та механічних характеристик глинистих порід одного і того ж типу з верхніх та глибоких горизонтів виявляє наступні відмінності. На глибоких горизонтах частка

піщаних фракцій дещо менша, за рахунок чого збільшується на 3% частка фракцій пилу (0,05-0,01) та на 4% глини (<0,005), що безумовно впливає на пластичні властивості (число пластичності зростає від 23,0 до 26,0),

Таблиця 7

Результати досліджень механічного складу глинистих порід

Визначувані параметри		№ проби		3378	2714	2714а
		Порушені зони зсуву		Суглинки важкі пиловидні		
Породи	Розміри часток, мм			горизонт 1180 м	горизонт 20,0 м	
Пісок	0,25-0,10			2,39	4,44	8,50
	0,10-0,05			17,58	8,11	10,47
Пил	0,05-0,01			52,47	46,1	42,93
	0,01-0,005			12,19	14,84	15,37
Глина	< 0,005			15,37	26,50	22,79

збільшується природна водонасиченість. При тій же межі вологості пластичності межа вологості текучості підвищується на 0,03 одиниці. Збільшується як густина глини, так і питома маса скелета глини, зменшується коефіцієнт пористості та зростає індекс вологості, зростає індекс текучості.

Дослідження показали, що кут і коефіцієнт внутрішнього тертя, а також зчеплення залежать від вологості глинистих порід. При збільшенні вологості від 35% до 67% кут внутрішнього тертя зменшується від 2-3 до 3-4°, коефіцієнт внутрішнього тертя – від 0,44 до 0,008, зчеплення – від 0,040-0,044 до 0,019-0,021 МПа.

1. Бирюков Н. С. Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов / Бирюков Н. С., Казарновский В. Д., Мотылев Ю. Л. – М.: Недра, 1975. – 176 с. 2. Чановский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е. Г. Чановский. – М.: Недра, 1975. – 302 с. 3. Руководство по проведению мероприятий для предотвращения прорывов глинистых грунтов в действующие горне выработки угольных шахт Кузбасса / Ткачев И. Г. и др. – Л. : ВНИМИ, 1964. 4. Бирюков Р. А. Влияние природных факторов на выбор способов разработки Прокопьевско-Киселевского месторождения / Р. А. Бірюков // Сб. научн. трудов «Совершенствование разработки Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса». – М.: Недра, 1966. 5. Егосин В. В. О прорывах глин в действующие выработки при обработке мощных крутых пластов на шахтах треста «Киселевуголь» / Егосин В. В. // Сб. научн. трудов «Совершенствование разработки Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса». – М.: Недра, 1966. 6. Кравченко В. И., Ликвидация аварий в угольных шахтах / В. И. Кравченко, М. М. Шило. – М.: Недра, 1967. – 252 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Калько А. Д. (НУВГП)