

**МЕТАЛУРГІЯ**

УДК 622.781:622.788.3(622.788.5)

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216180

© Чупринов Є.В.<sup>1</sup>, Журавльов Ф.М.<sup>2</sup>, Лялюк В.П.<sup>3</sup>,  
Кассім Д.О.<sup>4</sup>, Ляхова І.А.<sup>5</sup>**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН НА ПОКАЗНИКИ  
ЯКОСТІ ОКАТИШІВ**

Проведено лабораторні випробування по визначенню придатності різних за мінералогічним складом і обмінним іонним комплексом бентонітових глин для виробництва окатишів. Показано, що міцність на удар і опір стисненню сирих окатишів при децю підвищеній питомій витраті бентоніту Черкаського лужноземельного бентоніту не поступається цим же властивостям окатишів з використанням в якості сполучного лужного порівняльного бентоніту.

**Ключові слова:** бентонітові глини, окатиші, монтморилоніт, палигорськіт, дисперсія, обмінний комплекс, набухання, міцність окатишів.

*Чупринов Е.В., Журавлев Ф.М., Лялюк В.П., Кассим Д.А., Ляхова И.А. Исследование влияния бентонитовой глины на показатели качества окатышей. Проведены лабораторные испытания по определению пригодности различных по минералогическому составу и обменному ионному комплексу бентонитовых глин для производства окатышей. Показано, что прочность на удар и сопротивление сжатию сырых окатышей при несколько повышенном удельном расходе бентонита Черкасского щелочноземельного бентонита не уступает этим же свойствам окатышей с использованием в качестве связующего щелочного сравнительного бентонита.*

**Ключевые слова:** бентонитовые глины, окатыши, монтмориллонит, палигорскит, дисперсия, обменный комплекс, набухание, прочность окатышей.

*E.V. Chuprinov, F.M. Zhuravlev, V.P. Lyalyuk, D.O. Kassim, I.A. Lyakhova. Study of bentonite clay influence on indicators of pellet quality. Laboratory tests have been conducted to determine the suitability of bentonite clays of different mineralogical composition and exchange ion complex for the production of pellets. To assess the metallurgical characteristics of the obtained pellets, the moisture content of the pellets, the compressive strength of the raw and dry pellets, the number of drops without breaking the raw pellets and the temperature of the «shock» have been determined. Tests of the clays of Layers IV and Layer II composite mixtures and Layer II and Layer III composite mixtures were carried out, which showed that the quality of the raw pellets with Cherkassky bentonite is slightly worse than the pellets with Sarygyuhsky bentonite, but the absolute values of all the indicators satisfy the requirements imposed by the industry. Comparative tests of pelletizing different humidity charges, with the addition of 0,5% alkaline bentonite and the clays of Layers IV and Layer II composite mixtures of the Cherkassky deposit have*

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг, ORCID ID: 0000-0001-8605-3434, [itchupa@gmail.com](mailto:itchupa@gmail.com)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг

<sup>3</sup> д-р техн. наук, професор, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг, ORCID ID: 0000-0001-7258-2079, [vitalij.lyalyuk@gmail.com](mailto:vitalij.lyalyuk@gmail.com)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг ORCID ID: 0000-0002-1750-1237

<sup>5</sup> канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг

*been carried out. It has been shown that with increasing humidity in pellets with both types of binder additives, the dynamic strength, porosity and temperature of the «shock» of the pellets increases, the difference in the absolute values of indicators with different binders being minimum. It has been shown that the impact strength and compressive strength of raw pellets with a slightly increased specific consumption of bentonite of Cherkassky alkaline earth bentonite are not inferior to the same properties of pellets with alkaline Sarygyuhsy bentonite used as a binder. It has been shown that the clays of the Layer IV which are a natural mixture of alkaline earth bentonite of Layer II and palygorskite (Layer III), are preferable, to ensure good quality of the raw pellets, of the Cherkassky deposit clays.*

**Keywords:** bentonite clays, pellets, montmorillonite, palygorskite, dispersion, exchange complex, swelling, pellet strength.

**Постановка проблеми.** Лужноземельні бентоніти у виробництві залізорудних окатишів в даний час не застосовуються внаслідок більш низьких показників набухання і колоїдності при визначенні їх за загальними методиками. Також існує недостатня вивченість застосування лужноземельних бентонітів при огрудкуванні. Визначення можливості заміни при огрудкуванні залізорудних концентратів лужних натрієвих бентонітів на лужно-земельні кальцієві шляхом зіставлення якості окатишів дозволить раціонально використовувати наявні запаси високоякісних лужних бентонітів і застосовувати при огрудкуванні дешевшу сировину Черкаського родовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Природні лужні і лужноземельні бентонітові глини мають певний обмінний іонний комплекс з відповідним хімічним складом, реологічними характеристиками і впливом на властивості сирих окатишів. Багато з позитивних для процесу огрудкування властивостей лужних бентонітових глин, але в меншій мірі, притаманні і лужноземельним. Вони, так само як і високонабухаючі натрієві бентоніти, здатні забезпечувати високі пластичні властивості сирим і міцність сухим окатишам [1].

Заміна лужно-земельного обмінного комплексу лужним досить відпрацьована, однак відносно витратна технологія, що дозволяє низьконабухаючий лужноземельний бентоніт перетворити в високонабухаючу високоякісну сполучну добавку – лужний бентоніт [2].

Сутність технології полягає в ретельному змішуванні свіжовидобутого (бажано з вологістю 35-45%) дробленого лужноземельного бентоніту з 2-5% технічного карбонату натрію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (кальцинованою содою), витримкою цієї суміші певний час, бажано без втрати її вологості, для проходження реакції заміщення лужноземельного обмінного комплексу глини на лужний [3], з наступними дробленням, сушінням і, при необхідності, подрібненням. Готовий, підсушений до вологості 10-15%, дроблений або подрібнений продукт відвантажується споживачеві.

Окатиші є одним з основних видів залізорудної сировини для сучасної доменної плавки, а показники їх якості залежать від багатьох факторів, в тому числі від виду сполучного [1, 4]. Загальноприйнятими методиками всі реологічні характеристики бентонітових глин визначаються в дистильованій воді, а технологічна вода на різних підприємствах має різну жорсткість, кількість і склад розчинених солей. Речовинний склад і характеристики бентонітових глин для використання в якості сполучного у виробництві залізорудних окатишів викладені в роботі [5].

**Мета статті** – визначення можливості використання бентонітових глин Черкаського родовища в якості сполучного при виробництві окатишів на українських ГЗК.

**Викладення основного матеріалу.** Продовжуючи дослідження, викладені в роботі [5], були проведені лабораторні випробування по визначенню придатності різних за мінералогічним складом і обмінним іонним комплексом бентонітових глин для виробництва окатишів. Окатиші діаметром 12-13 мм були отримані на лабораторному грануляторі при безперервному режимі роботи. Підготовка шихтових матеріалів полягала в наступному: усереднена проба бентонітової глини сушилася при температурі 105-110°C, а потім подрібнювалася до крупності 95% класу 0,05 мм. Подрібнена бентонітова глина дозувалася на вологий концентрат. Вага проби становила 100 кг, а її змішування проводилося в барабанному змішувачі з ефективністю змішування більше 95%.

У процесі досліджень визначалися: вологість окатишів, міцність при стисненні сирих і сухих окатишів, кількість скидань сирих окатишів з висоти 0,3 метра на гумову плиту і темпе-

ратура «шоку» при швидкості фільтрації теплоносія через шар сирих окатишів 1,2 м/с.

Витрата бентонітового порошку для огрудкування зазвичай становить 0,5-0,7% в сухій масі по відношенню до вологого концентрату. У першій серії дослідів була прийнята дещо більша (1%) витрата сполучного, щоб вплив досліджуваних глин на показники якості окатишів виявився більш помітним. Крім селективно відібраних проб (по шарах) досліджували суміші проб в різних співвідношеннях (табл. 1), беручи до уваги, що при видобутку в кар'єрі співвідношення глин різних різновидів може змінюватися в широких межах, а селективна виїмка і складування можуть виявитися практично нездійсненими.

В деякі суміші додавали каолінит. Результати дослідів (див. табл. 1) свідчать про те, що при підвищеній питомій витраті бентоніту міцність на удар (скидання) і опір стисненню сирих окатишів з додавкою черкаського Са-бентоніту не поступається цим же властивостям окатишів з використанням в якості сполучного лужного саригюхського бентоніту. Міцність сирих окатишів в усіх дослідах була вище існуючих в практиці огрудкування вимог (ударна міцність – 5,6 скидань без руйнування, опір стисненню – 7,35-7,85 Н/окатиш). Опір стиску висушених окатишів приблизно вдвічі перевищував мінімальні вимоги – 22,6-25,5 Н/окатиш.

Таким чином, при відповідній кількості бентонітового порошку в шихті з глин Черкаського родовища можна отримати сирі окатиші необхідної якості. При використанні глин IV шару сирі окатиші з усіх типів концентратів характеризувалися в середньому найбільш високими значеннями міцності при стисненні після підсушування і температури «шоку». У разі добавки до глини IV шару 50% палигорскітової глини III шару міцність сухих окатишів з концентратів ЛебГЗКа і ЦГЗК знизилася, відповідно, з 57,9 до 48,1 Н/окатиш і з 59,8 до 53,9 Н/окатиш при стабільних значеннях динамічної та статичної міцності сирих окатишів.

Додавка до глини IV шару тільки каолініту (50%) теж поліпшила якість сирих окатишів. Сприятливе поєднання властивостей сирих окатишів ЦГЗК (динамічна міцність – 14,9 скидань, статична міцність – 15,1 Н/окатиш, опір стисненню після підсушування – 64,7 Н/окатиш, температура «шоку» – 540°C) отримано при добавці до глини IV шару 40% глини II шару і 20% каолініту. Для концентрату ЛебГЗКа вказаному складу суміші бентонітових глин відповідали середні значення якості сирих окатишів.

З концентратів ЛебГЗКа і ЦГЗК отримані окатиші хорошої якості при добавці 1% бентонітової глини II шару. Додавка до цієї глини невеликої кількості палигорскіту (20%) не погіршує якість окатишів з концентрату ЦГЗК. Окатиші ПівнГЗК зі сполучним з глини II шару характеризуються зниженою міцністю при стисканні після підсушування. Це ж відноситься до окатишів з концентрату ЦГЗК з використанням глини тільки III шару.

Таким чином, найбільш сприятливим для забезпечення гарної якості сирих окатишів різновидом глин Черкаського родовища є глини IV шару, що представляють собою природну суміш лужноземельного бентоніту II шару і палигорскіту (III шару) в змінному співвідношенні, від 1:1 до 4:1.

Високі показники якості окатишів отримані для сумішей глин II і III шарів (в діапазоні співвідношень, характерних для IV шару).

При всіх видах випробуваних сполучних добавок обпалені окатиші характеризувалися високими фізико-механічними і металургійними властивостями (табл. 1). Вплив типу бентоніту на властивості готових обпалених окатишів не простежується. Найбільш високу температуру «шоку» мали окатиші з глиною IV шару Черкаського родовища. Слід зазначити, що температура «шоку» за даними дослідів в великій мірі залежить також від крупності концентрату. Так для більш тонкого концентрату ПівнГЗК вона була на 45-90°C нижче в порівнянні з окатишами з концентрату ЦГЗК.

З огляду на результати попередніх досліджень, подальші досліді проводили з бентонітами IV шару і сумішшю глин IV і II шару в співвідношенні 1:2. Оскільки глина IV шару являє собою природну суміш глин II і III шару, додавання до неї глини II шару дає нову композиційну суміш, яку потрібно розглядати крім того і як особливий різновид IV шару з підвищеним вмістом лужноземельного бентоніту, і як суміш глин III шару і II шару.

При зменшенні витрати бентоніту з 1% до 0,5% показники якості сирих окатишів знизилися практично до однакового, але прийняттого для огрудкування рівня для обох видів бентонітів: саригюхського і черкаського (IV шар) (табл. 2).

Таблиця 1

Властивості неофлюсованих окатишів з концентратів ЦГЗК, ЛебГЗК, ПівнГЗК з добавкою лужних бентонітів і глин черкаського родовища

Найменування добавки	Концентрат	Властивості сирих окатишів			
		Кількість скидань з 300 мм/раз	Міцність при стисненні, Н/окатиш		Температура «шоку», °С
			сирих	сухих	
Саригюхський лужний	ЦГЗК	8,7	9,81	50,99	575
IV шар Черкаського род.		8,8	12,75	59,82	580
II шар Черкаського род.		12,4	13,24	59,82	540
III шар Черкаського род.		10,7	13,53	42,17	540
50% IV шару + 50% III шару		16,5	16,38	53,94	510
50% IV шару + 50% каолініту		8,1	14,51	53,94	530
40% IV шару + 40% II шару + 20% каолініту		14,9	15,10	64,72	540
80% II шару + 20% III шару		16,5	11,77	62,76	540
50% II шару + 50% III шару		14,3	11,77	54,92	530
Саригюхський лужний	ПівнГЗК	12,9	14,91	61,78	470
IV шар Черкаського род.		18,8	14,81	57,86	490
II шар Черкаського род.		14,5	15,10	45,11	495
Саригюхський лужний	ЛебГЗК	12,0	14,22	55,90	560
IV шар Черкаського род.		11,8	13,34	57,86	580
II шар Черкаського род.		11,6	14,71	54,92	520
50% IV шару + 50% III шару		11,5	16,67	48,05	595
40% IV шару + 40% II шару + 20% каолініту		10,6	13,73	50,99	570

Продовження таблиці 1

Найменування добавки	Концентрат	Властивості обпалених окатишів			
		Міцність при стисненні, кН/окатиш	Барабанна проба		Ступінь відновлення, %
			+5 мм	-0,5 мм	
Саригюхський лужний	ЦГЗК	4,19	96,0	3,8	68,60
IV шар Черкаського род.		3,75	95,6	4,4	67,25
II шар Черкаського род.		4,38	96,1	3,9	60,90
III шар Черкаського род.		не проводились			
50% IV шару + 50% III шару		4,11	96,0	4,0	62,10
50% IV шару + 50% каолініту		–	–	–	–
40% IV шару + 40% II шару + 20% каолініту		4,78	96,2	3,7	46,80
80% II шару + 20% III шару		–	–	–	–
50% II шару + 50% III шару		–	–	–	–
Саригюхський лужний	ПівнГЗК	–	–	–	–
IV шар Черкаського род.		–	–	–	–
II шар Черкаського род.		–	–	–	–
Саригюхський лужний	ЛебГЗК	4,47	97,7	2,3	60,30
IV шар Черкаського род.		4,07	97,5	2,5	56,30
II шар Черкаського род.		4,43	96,9	3,1	47,20
50% IV шару + 50% III шару		4,20	97,4	2,6	70,40
40% IV шару + 40% II шару + 20% каолініту		5,18	97,7	2,3	47,30

Таблиця 2

Вплив кількості бентонітової глини IV шару Черкаського родовища на якість окатишів з концентрату Північного ГЗК (температура обпалення 1350°C, тривалість – 7 хв)

Найменування добавки в шихті	Властивості сирих окатишів					Температура «шоку», °C
	Кількість сполучного, %	Вологість, %	Міцність при стисненні, Н/окатиш		Кількість скидань без руйнування, раз	
			сирих	сухих		
Саригюхський бентоніт	0,5	8,4	9,51	34,32	5,0	480
IV шар Черкаського род.	0,5	8,5	10,20	34,32	5,2	550
Саригюхський бентоніт	1,0	7,5	14,91	61,78	12,9	470
IV шар Черкаського род.	1,0	7,7	14,81	57,86	18,8	490

Продовження таблиці 2

Найменування добавки в шихті	Властивості обпалених окатишів					
	Міцність при стисненні, кН/окатиш	Барабанна проба %		Міцність при відновленні, %		
		+5 мм	-0,5 мм	-0,5 мм	+5 мм	+10 мм
Саригюхський бентоніт	4,64	98,1	1,9	2,8	80,35	66,8
IV шар Черкаського род.	4,99	97,9	2,0	5,75	76,6	56,1
Саригюхський бентоніт	Не досліджувалось					
IV шар Черкаського род.						

Обпалені окатиші з добавкою черкаського бентоніту при однакових фізико-механічних властивостях в холодному стані показали трохи більше руйнування при відновленні ніж в дослідях з лужним саригюхським, хоча їх міцність при низькотемпературному відновленні відповідає сучасним вимогам: стиранність – 5,75%, вихід класу +5 мм – 76,7% (при необхідному – не менше 70%). Збільшення витрат бентоніту для концентрату Північного ГЗК не підвищило температуру «шоку».

У промислових умовах можуть мати місце значні коливання вологості концентрату, що надходить на огрудкування. У зв'язку з цим провели порівняльні досліді з різною вологістю шихти перед огрудкуванням, відповідно, при різній вологості окатишів з добавкою 0,5% лужного та черкаського бентонітів (суміш глин IV і II шарів, табл. 3).

Таблиця 3

Вплив вологості шихти з різними сполучними на показники якості сирих окатишів основністю 0,5 з концентрату ЦГЗК

Найменування добавки в шихті	Кількість сполучного, %	Вологість шихти, %	Вологість окатишів, %	Міцність при стисненні, Н/окатиш		Кількість скидань без руйнування, раз	Загальна пористість, %	Температура «шоку», °C
				сирих	сухих			
Саригюхський бентоніт	0,5	8,2	7,7	12,36	28,44	5,6	26,31	460
Те ж	0,5	9,1	8,7	10,59	25,01	6,3	30,04	480
Те ж	0,5	9,87	9,65	6,37	23,05	10,6	31,50	500
Суміш глини II і IV шарів	0,5	8,1	8,0	10,20	26,48	5,2	28,28	480
Те ж	0,5	9,3	9,3	8,04	22,06	5,8	31,80	460
Те ж	0,5	9,74	9,74	6,67	24,22	10,1	32,45	535

В обох випадках зі збільшенням вологості спостерігається аналогічний характер зміни властивостей окатишів: як для саригюхського, так і для черкаського бентонітів: підвищується динамічна міцність з 5,6-5,2 до 10,6-10,1 скидань, пористість (на рис. 1-3 представлені середні показники трьох паралельних дослідів) і температура «шоку» окатишів (табл. 3).

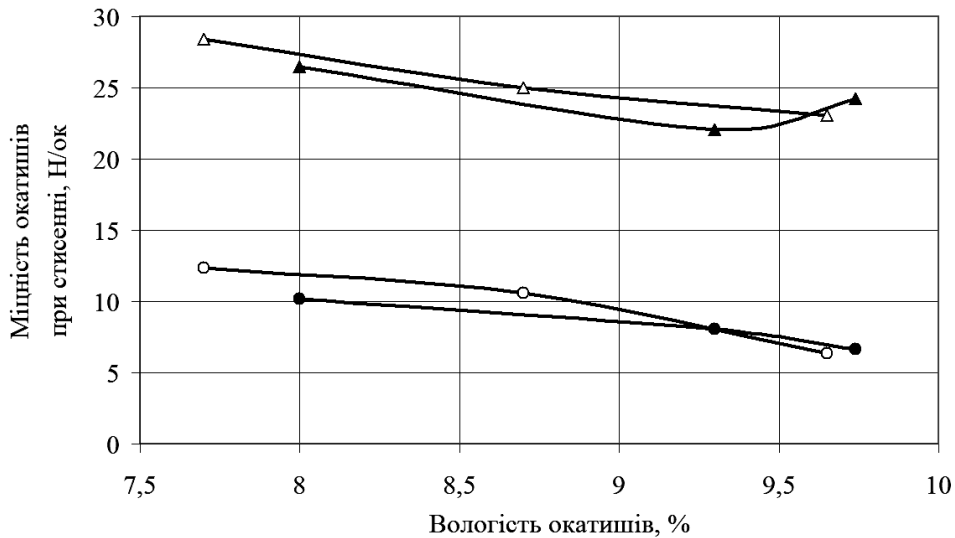


Рис. 1 – Вплив вологості сирих окатишів на показники їх міцності: Δ і ▲ – міцність сухих окатишів; ○ та ● – міцність сирих окатишів (з добавкою саригюхського і черкаського бентоніту IV шару, відповідно)

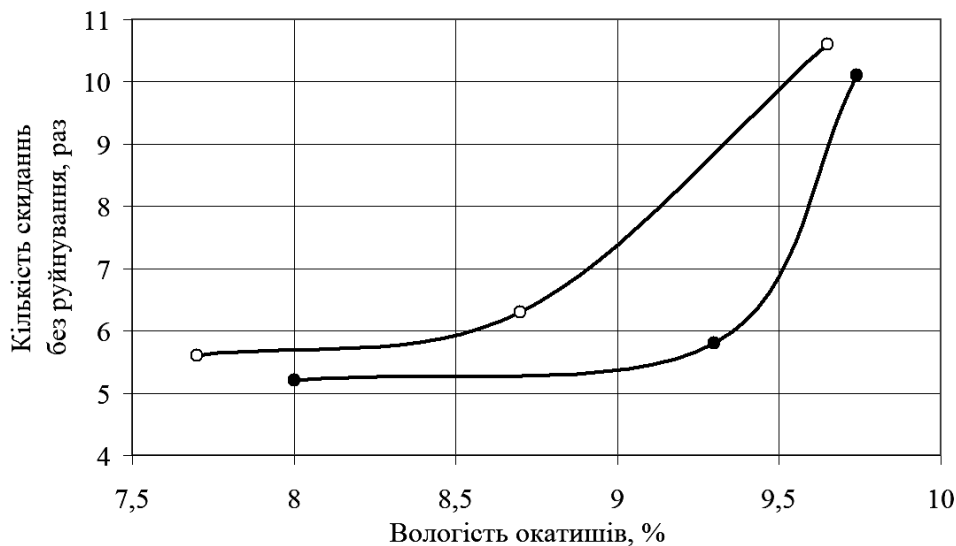


Рис. 2 – Вплив вологості сирих окатишів на показники їх міцності при скиданні: ○ та ● – з добавкою саригюхського і черкаського бентоніту IV шару, відповідно

Температури «шоку» сирих окатишів з лужноземельним бентонітом при однаковій вологості приблизно рівні температурам з лужним бентонітом. При збільшенні вологості сирих окатишів знижується міцність сирих і сухих окатишів, а пористість і міцність на скидання зростають. Збільшення вологості окатишів вище 9,3% призводить до зниження статичної міцності окатишів нижче мінімального допустимого рівня (7,35-7,85 Н/окатиш) як для черкаського (6,67 Н/окатиш при 9,74% вологості окатишів), так і для саригюхського бентоніту (6,37 Н/окатиш при вологості окатишів 9,65%). У той же час при відносно високій вологості окатишів 9,3% з Черкаським бентонітом їх міцність (8,04 Н/окатиш) не нижче мінімальної межі.

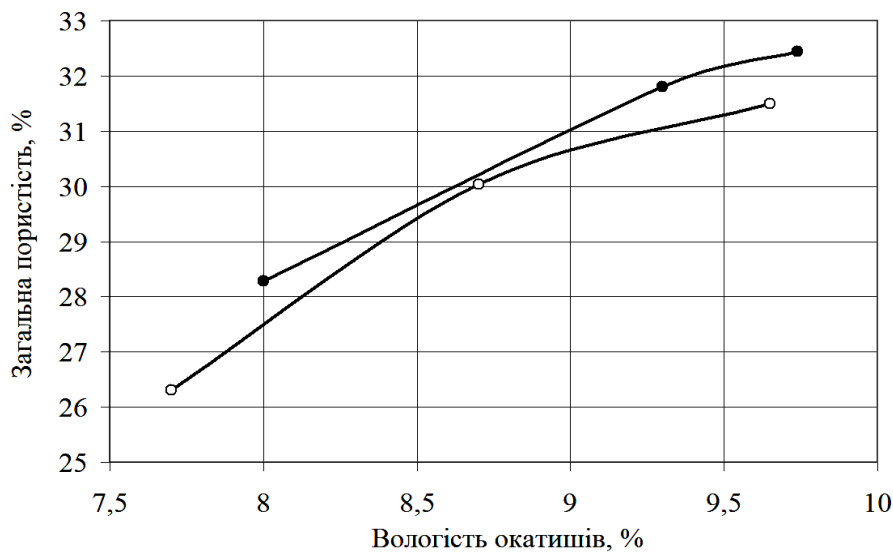


Рис. 3 – Вплив вологості сирих окатишів на показники їх пористості: ○ та ● – з добавкою саригюхського і черкаського бентоніту IV шару, відповідно

Графічний аналіз даних, наведених в табл. 3 і на рис. 1-3, показує, що при однаковій вологості пористість сирих окатишів з Черкаським бентонітом приблизно на 0,8-1% вище. При збільшенні вологості окатишів з 7,7-8,0 до 9,7% збільшується їх пористість з 27 до 32%.

При цьому міцність на стиснення сирих і сухих окатишів з обома бентонітами дещо знижується, а ударна міцність сирих окатишів зростає. Таким чином, за даними цих випробувань при використанні суміші IV і II шарів якість сирих окатишів з черкаським бентонітом дещо гірше, ніж з саригюхським, проте абсолютні значення показників в цілому задовольняють вису- нутим вимогам.

Проведені лабораторні випробування показали, що, незважаючи на порівняно нижчі показники [5] (що визначаються за існуючими методиками в дистильованій воді) черкаських бентонітових глин, окатиші з концентратів ЦГЗК, ПівнГЗК і ЛебГЗК, отримані з добавкою глин IV, IV і II, III і II шарів, не поступаються або поступаються незначно за властивостями у вологому і сухому стані окатишам з добавкою саригюхського лужного бентоніту.

При використанні черкаського бентоніту можливе отримання окатишів приблизно в тому ж діапазоні вологості концентрату, як і для саригюхського бентоніту. Для об'єктивного підтвердження можливості використання лужноземельного бентоніту Черкаського родовища (II-III-IV шарів) у виробництві окатишів необхідно провести порівняльні промислові випробування на гірнично-збагачувальній фабриці (наприклад, Північний ГЗК), що використовує концентрат з підвищеною жорсткістю технічної води.

### Висновки

1. Вивчено вплив заміни лужного бентоніту в шихті для виробництва окатишів лужноземельними і палигорськітовими бентонітовими глинами та формами їх сумішей. На прикладі властивостей сирих, сухих і обпалених окатишів показана можливість використання менш дефіцитних і менш вартісних місцевих бентонітових глин замість експортуємих лужних глин без погіршення технології виробництва і характеристик окатишів.

2. Вивчений порівняльний вплив вологості сирих окатишів на їх пористість і міцнісні характеристики з лужним і лужноземельними бентонітами в шихті. Показано, що абсолютні значення показників з обома бентонітами при всіх значеннях вологості відповідають вимогам технології, однак міцність при скиданні у окатишів з лужноземельним бентонітом нижче, ніж з лужним.

3. При вивченій кількості (0,5 і 1,0%) бентоніту в шихті міцність при стисненні сирих і сухих окатишів з лужним і черкаським з IV шару (природна суміш лужноземельного і палигорськіту) бентонітами була практично однакова, а температура «шоку» у других – на 20-70°C вище.

4. Об'єктивний висновок про придатність природних (без модифікації) черкаських бентонітових глин і заміни ними лужних глин можна визначити тільки в результаті тривалих промислових випробувань з конкретними концентратами і технічною водою.

#### Перелік використаних джерел:

1. Совершенствование технологии и оборудования производства железорудного сырья для современной доменной плавки / В.П. Лялюк, Н.И. Ступник, Ф.М. Журавлев, Е.В. Чупринов, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим – Кривой Рог : Дионат, 2017. – 368 с.
2. Экономическая эффективность активации бентонитовых глин в окомковательном производстве / А.А. Салыкин, А.А. Балес, Н.М. Гузенко, Л.Д. Гагут // В кн. : Экономика черной металлургии. – М. : Металлургия. – 1980. – № 9 – С. 23-27.
3. Кульчитский Л.И. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород / Л.И. Кульчитский. – М. : Недра. – 1981. – 253 с.
4. Теория, технология и оборудование производства окатышей и нового железорудного сырья для доменной плавки / Ф.М. Журавлев, В.П. Лялюк, Н.И. Ступник, В.С. Моркун, Е.В. Чупринов, Д.А. Кассим. – Кривой Рог : ФЛ-П Чернявский Д.А., 2019. – 925 с.
5. Речовинний склад і характеристики бентонітових глин Черкаського родовища для використання в якості сполучних при виробництві залізородних окатишів / Є.В. Чупринов, Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, Д.О. Кассім, І.А. Василенко // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 39. – С. 7-17. – (Серія : Технічні науки). – Mode of access: [DOI: 10.31498/2225-6733.39.2019.201035](https://doi.org/10.31498/2225-6733.39.2019.201035).

#### References:

1. Lyalyuk V.P., Stupnik N.I., Zhuravlev F.M., Chuprinov E.V., Lyakhova I.A., Kassim D.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii i oborudovaniya proizvodstva zhelezorudnogo syr'ya dlya sovremennoj domennoj plavki* [Improving the technology and equipment for the production of iron ore for modern blast furnace smelting]. Krivoj Rog, Dionat Publ., 2017. 368 p. (Rus.)
2. Salykin A.A., Bales A.A., Guzenko N.M., Gagut L.D. *Ekonomicheskaya effektivnost' aktivacii bentonitovykh glin v okomkovatel'nom proizvodstve* [Economic efficiency of activation of bentonite clays in pelletizing production]. *Ekonomika chernoj metallurgii – Iron and Steel Economy*, Moscow, Metallurgiya Publ., 1980, no. 9, pp. 23-27. (Rus.)
3. Kul'chitskij L.I. *Fiziko-khimicheskie osnovy formirovaniya svojstv glinistykh porod* [Physico-chemical principles of the formation of clay rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 253 p. (Rus.)
4. Zhuravlev F.M., Lyalyuk V.P., Stupnik N.I., Morkun V.S., Chuprinov E.V., Kassim D.A. *Teoriya, tekhnologiya i oborudovanie proizvodstva okatyshey i novogo zhelezorudnogo syr'ya dlya domennoj plavki* [Theory, technology and equipment for the production of pellets and new iron ore raw materials for blast furnace]. Krivoj Rog, FL-P Chernyavskij D.A. Publ., 2019. 925 p. (Rus.)
5. Chuprinov Ye.V., Zhuravlov F.M., Lyalyuk V.P., Kassim D.O., Vasilenko I.A. *Rechovinnij sklad i charakteristiki bentonitovih glin Cherkaskogo rodovisha dlya vikoristannya v yakosti spoluchnih pri virobniactvi zalizorudnih okatishiv* [The material composition and characteristics of bentonite clays for use as a binder in the production of iron ore pellets]. *Visnik Priazovs'kogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universitetu. Serii: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2019, iss. 39, pp. 7-17. doi: [10.31498/2225-6733.39.2019.201035](https://doi.org/10.31498/2225-6733.39.2019.201035). (Ukr.)

Рецензент: О.Д. Учитель  
д-р техн. наук, проф., КМІ НметАУ

Стаття надійшла 30.03.2020