

В.О. Петренко¹, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри, e-mail: petrenko_v@email.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5017-1674>

Д.В. Комиш², канд. техн. наук, наук. співр., e-mail: dmytro.komysh@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-4820-9447>

М.М. Бойко¹, канд. техн. наук, доц., доц. кафедри, e-mail: m.m.boiko@ust.edu.ua,

<https://orcid.org/0000-0003-3557-9027>

Д.Ю. Ковальов¹, аспірант, e-mail: Dmitry.Kovalev@arcelormittal.com,

<https://orcid.org/0009-0004-5816-4419>

Д.В. Верещак³, менеджер проєкту, e-mail: dv.vereschak@gmail.com,

<https://orcid.org/0009-0006-5267-3823>

¹Український державний університет науки і технологій (Дніпро, Україна)

²Інститут газу НАН України (Київ, Україна)

³ТОВ НВФ «КОШ» (Дніпро, Україна)

Використання нанорідин для підвищення ефективності огрудкування залізовмісної шихти

У статті досліджено можливість підвищення ефективності процесу огрудкування залізовмісної шихти шляхом використання нанорідин на основі колоїдних розчинів глинистих мінералів. Обґрунтовано вибір як активатора грудкоутворення суміші аттапульгіту та монтморилоніту, які завдяки своїй високій питомій поверхні, гідрофільності, йоннообмінній здатності та природному нанорозмірному стану, забезпечують покращення грануляційних властивостей шихти. Методом ультразвукового диспергування отримано стабільну нанорідину, яка застосовувалась у лабораторних умовах для моделювання процесів грудкування.

Лабораторні дослідження показали, що введення нанорідини сприяє суттєвому зростанню виходу цільової фракції агломераційної шихти (3–7 мм), зокрема при оптимальному рівні вологості (приблизно 12 %). Водночас було виявлено, що подальше збільшення вологості до 13–13,5 % спричиняє перезволоження, що негативно впливає на міцність гранул і призводить до злипання частинок.

У промислових умовах (на агломашині № 6 агломераційного цеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») проведено серію дослідно-промислових випробувань із застосуванням трьох різних марок активатора грудкоутворення, виготовленого ТОВ НВФ «КОШ». Було розроблено схему дозованої подачі активатора до барабана-змішувача. За результатами промислових випробувань, незважаючи на підвищення рівня виходу цільової фракції в лабораторних умовах, суттєвого покращення продуктивності агломашини досягти не вдалося. Визначено, що головним обмежувальним фактором є недосконалість конструкції барабана-змішувача, яка не забезпечує оптимального середовища для ефективного грудкоутворення.

Отримані результати підтверджують перспективність використання нанодиспергованих глинистих активаторів у процесі агломерації, проте також вказують на необхідність технічної модернізації обладнання для реалізації повного потенціалу нових технологічних підходів.

Ключові слова: нанорідина, залізородний агломерат, огрудкування, активатор грудкоутворення, колоїдні розчини.

Вступ. У сучасних умовах розвитку металургійної промисловості актуальним завданням є забезпечення стабільної та високоєфективної підготовки залізовмісної сировини до агломераційного процесу. Одним з основних шляхів досягнення цієї мети є оптимізація

процесу огрудкування — створення стійких гранул із шихтових матеріалів перед спіканням. Якість отриманого агломерату безпосередньо впливає на ефективність доменного виробництва, витрати палива, тривалість плавки та стабільність роботи печі.

Традиційні технології огрудкування агломераційної

шихти не передбачають використання в'язучих речовин. Проте в умовах зростаючих вимог до якості агломерату та ефективності виробництва виникає потреба у впровадженні нових технологічних рішень. Одним із таких перспективних напрямів є використання нанорідин на основі колоїдних розчинів глинистих мінералів, зокрема аттапульгіту та монтморилоніту. Природна наноструктура цих матеріалів, висока питома поверхня, гідрофільність та здатність до іонного обміну роблять ці матеріали потенційно ефективними активаторами процесу огрудкування.

Застосування нанодисперсних суспензій може забезпечити рівномірне покриття частинок шихти, покращити міжфазні взаємодії та сприяти формуванню більш міцних гранул із заданими розмірами. У поєднанні з сучасними методами підготовки сировини (наприклад, ультразвуковим диспергуванням), це дозволяє значно підвищити фракційний вихід гранул агломераційної шихти цільового розміру та покращити її якість агломерату.

Актуальність. На сьогоднішній день агломерат є одним з основних компонентів доменної шихти. За деякими властивостями агломерат переважає окатиші, за іншими поступається. Створення агломерату з різною масовою часткою заліза та необхідною основністю, введення в нього різноманітних добавок дозволяє регулювати доменний процес, підвищувати інтенсивність плавки, регулювати витрату коксу. Застосування агломерату в доменній шихті може бути вигідним, якщо частка фракції 0—5 мм не перевищує 2—3 %.

При отриманні високоякісного агломерату важливу роль відіграє фракційний розподіл залізородного концентрату та величина питомої поверхні всіх компонентів шихти. Міцність гранул огрудкованої агломераційної шихти чим вище — тим більше контактів між окремими частинками, число яких збільшується зі зменшенням розміру зерна окремих компонентів. Додавання флюсу, подрібненого сухим методом, дозволяє регулювати вологість шихти. Від розміру фракції флюсу залежить і міцність гранул.

Україна має у своєму розпорядженні унікальні запаси дисперсної мінеральної сировини (бентоніти з високим вмістом монтморилоніту (ММ), каолініти, пірофіліти, палигорськіти, цеоліти, трепел, кізельгур та ін.), багато з яких не реалізуються або використовуються вкрай нераціонально [1].

Під дією сил поверхневого натягу у вологій шихті при обертанні барабана-змішувача відбувається утворення центрів зародків та формування фракції, необхідної для агломерації з поступовим ущільненням структури та зменшенням пористості. Призначення в'язучої добавки на даному етапі — це створення міцної структури гранул огрудкованої шихти, що дозволяє зберегти їх стійкість під час спікання [2].

Для прикладу в окатишах в якості основного в'язучого компонента використовувались бентонітові глини з високим (більше 70 %) вмістом монтморилоніту. Використання бентоніту в шихті вимагає його невеликої витрати (0,5—2 %) порівняно з аналогами.

Основною властивістю бентонітових глини є природний тонкодисперсний стан, що забезпечується їх кристалічною будовою. Також слід зауважити гідрофільність, змочуваність, йонообмінну ємність та здатність поступово виділяти воду при нагріві. Використання сировини такого типу вимагає її незначної витрати порівняно з іншими добавками аналогічного призначення [3].

Для кожного типу шихти залежно від мінералогічного та гранулометричного складу концентрату та флюсуючих компонентів обирається оптимальна кількість в'язучої добавки [4].

Слід враховувати, що більшість бентонітів використовуються для виробництва окатишів, що мають значно більший розмір гранул шихти в порівнянні з агломератом [5]. Також відіграє роль те, що вміст глини в шихті 2 % є незначним для виробництва окатишів, але для агломерату використання такої кількості в'язучої добавки може значно вплинути на середній розмір гранул та рівномірність гранулометричного складу огрудкованої шихти [6].

Мета роботи. Метою даної статті є дослідження впливу нанорідин на основі колоїдних розчинів глинистих мінералів на ефективність процесу огрудкування залізовмісної шихти, а також визначення можливостей практичного застосування таких активаторів грудкоутворення в лабораторних і промислових умовах для підвищення якості агломераційної шихти та продуктивності агломераційного обладнання.

Об'єкт та методика дослідження. Для оцінки ефективності використання активатора грудкоутворення на основі природної суміші аттапульгіту та монтморилоніту було проведено серію дослідів з використанням залізородної сировини. В умовах лабораторії використовувався барабан-змішувач об'ємом 3 л, в який завантажувалось 0,5 кг шихти.

Після грудкування проводився просів матеріалу через набір сит (3 мм, 5 мм, 10 мм) з наступним зважуванням кожної фракції.

Використовувалась шихта надана комбінатом ПАТ «Запоріжсталь».

В якості активатора було використано глини з кар'єрів Черкаської області. Активатор доводився колоїдного стану шляхом ультразвукового диспергування протягом 40 хв. Інститут газу НАН України має багатий досвід в створенні колоїдних розчинів (або ж нанорідин) різної природи [7].

Фактором вибору саме такого активатора стала його природна структура з великою питомою поверхнею та відносна легкість переведення у високодиспергований стан. Природний розмір частинок такого алюмосилікату складає 10—15 нм по короткій стороні та до 500 нм по довгій. Важливу роль грає також висока гідрофільність.

Для оцінки ефективності застосування глинистих присадок-активаторів грудкування було використано мінімального розміру барабан-змішувач (3 л) з ручним розпиленням.

Результати досліджень та їх обговорення. В лабораторії основними обмежувачими факторами для достовірного моделювання процесу грудкування

були геометричні розміри барабана-змішувача.

При проведенні дослідження для визначення режиму грудкування за основу було взято загальну дистанцію, що проходить матеріал по поверхні барабана. Оскільки ні частоту обертання, ні прискорення

промислового обладнання неможливо достовірно відтворити в лабораторних умовах.

Порівнюючи діаграми Рис. 1 можна спостерігати значну залежність гранулометричного складу огрудкованої шихти від її вологості. Прийнято,

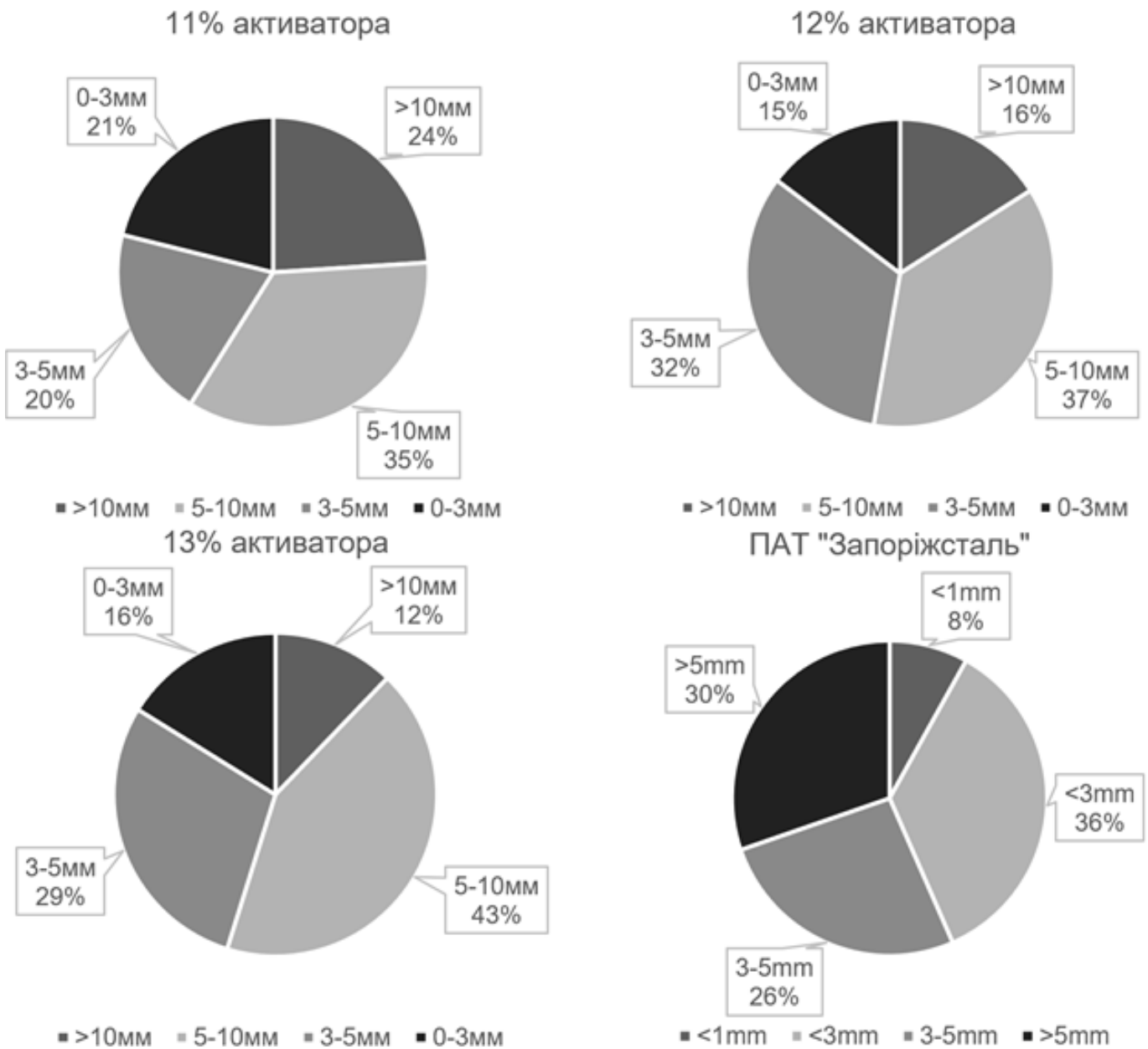


Рис. 1. Фракційний розподіл огрудкованої агломераційної шихти

що для умов агломераційної фабрики цільовою є фракція огрудкування 3—7 мм. Так, найбільше зростання виходу цільової фракції відбувається при збільшенні вологості з 11 до 12 %. В той же час перехід з 12 до 13 % такого ж ефекту не забезпечує, залишаючи вихід цільової фракції приблизно на тому ж рівні. Якщо ж порівнювати результати лабораторних досліджень з промисловими показниками, то використання активатора грудкування забезпечує підвищення продуктивності за цільовою фракцією з

50—60 % до 65—70 %.

В той же час, як показано на Рис. 2, додаткове введення 0,5 % води до шихти дозволяє суттєво покращити вихід цільової фракції при огрудкуванні шихти. Але при цьому відзначається перезволоження шихти, що призводить до зниження міцності гранул та злипання окремих зерен (Рис. 3).

Згідно з затвердженою ДТІК програмою № 2018-агл-2023 р. від 15.11.23 р. та з урахуванням поправок № 1 до неї в агломераційному цеху (АЦ) в лютому

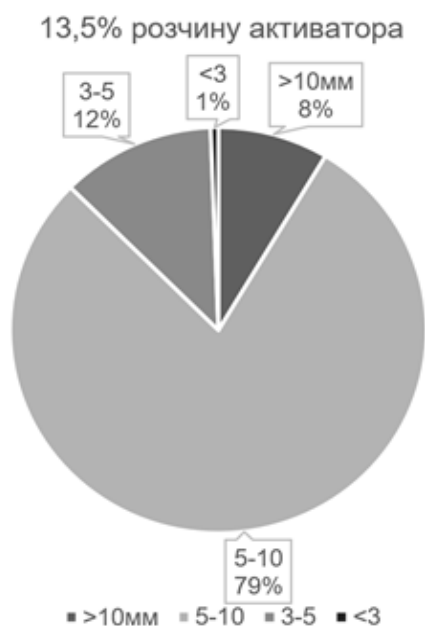


Рис. 2. Фракційний розподіл перезволоженої огрудкованої шихти

2024 р. проведено дослідно-промислові випробування з визначення впливу додавання в аглошихту активатора грудкоутворення виробництва ТОВ НВФ «КОШ» на продуктивність агломашин та якість агломерату. Активатор грудкоутворення для випробувань доставлено ТОВ НВФ «КОШ» відповідно до



Рис. 3. Фото огрудкованої агломераційної шихти на виході з барабана-змішувача. Вологість — 13,5 %

сертифіката якості № 511С.

Якість агломерату, виготовленого на агломашині № 6 в період випробувань, визначалась його міцністю і вмістом в ньому фракції «-5 мм».

Дослідно-промислові випробування проводились з 28.02. по 1.03 2024 р. згідно з програмою тільки на агломашині № 6 в період роботи агломераційного цеху на штаблї залізорудної сировини № 17. Характеристику штабеля залізорудної сировини (ЗРС) № 17 показано в табл. 1.

Для проведення випробувань, згідно з доповненням № 1 до раніше затвердженій програми ТОВ НВФ «КОШ» надала три марки активатора грудкоутворення (А, Б та В) по 240 л кожного з урахуванням забез-

Таблиця 1

Характеристика штабеля ЗРС № 17

Періоди	Вага штабеля, т	Вміст в штабелі, %		Склад ЗРЧ штабельної сировини від загальної маси штабеля, %		Вміст ЗМЗ (вторинна сировина від загальної маси штабеля), %	Вміст вапна від загальної маси штабеля, %
		Fe	SiO ₂	Концентрат	Аглоруда		
Штабель № 17 27.02 (15 г)-02.03.(7 г).	47667,8	65,23	5,64	84,69	—	13,61	1,70

печення безперервної роботи агломашини № 6 при шихтовому навантаженні 120 т аглошихти на годину протягом 8 годин.

В агломераційному цеху на ділянці біля змішувального барабана а/м № 6 спеціалістами АЦ була змонтована установка для підготовки та подачі активатора грудкоутворення в аглошихту на стадії її змішування/грудкування в барабані-змішувачі, згідно з наданою ТОВ НВФ «КОШ» схемою. Схему подачі активатора грудкоутворення в барабан-змішувач показано на рис. 4.

З метою організації рівномірної та безперервної подачі активатора грудкування на ділянці біля барабана-змішувача перед початком випробувань було встановлено 2 пластикові ємності по 1 м³ (поз. 1, Рис. 4) з підведенням до них зверху трубопроводів технічної води та стисненого повітря. В кожну ємність з водою спеціалісти НВФ «КОШ» ручним способом заливали розрахунковий об'єм активатора грудко-

утворення для забезпечення рекомендованої його витрати. Протягом процесу підготовки та наступного випрацювання розчину в ємність подавалося стиснене повітря (барботаж) для рівномірного розподілу активатора в повному об'ємі ємності. Готову суміш за допомогою циркуляційного насосу (поз. 2, Рис. 4) подавали в потік аглошихти. Подача здійснювалась через встановлені в барабані-змішувачі три трубки (DN3/4), кожна з яких обладнана форсунками-розпилювачами (поз. 3, Рис. 4). Розташування форсунок-розпилювачів визначалося згідно з рекомендаціями спеціалістів НВФ «КОШ».

Витрата активатора розраховувалась спеціалістами НВФ «КОШ» з урахуванням шихтового навантаження 120 т шихти на годину і регламентувалась тільки потужністю циркуляційного насосу та пропускною здатністю 6-ти форсунок-розпилювачів. Витрата розчину, підготованого спеціалістами НВФ «КОШ», на перших двох етапах (марки А та Б) скла-

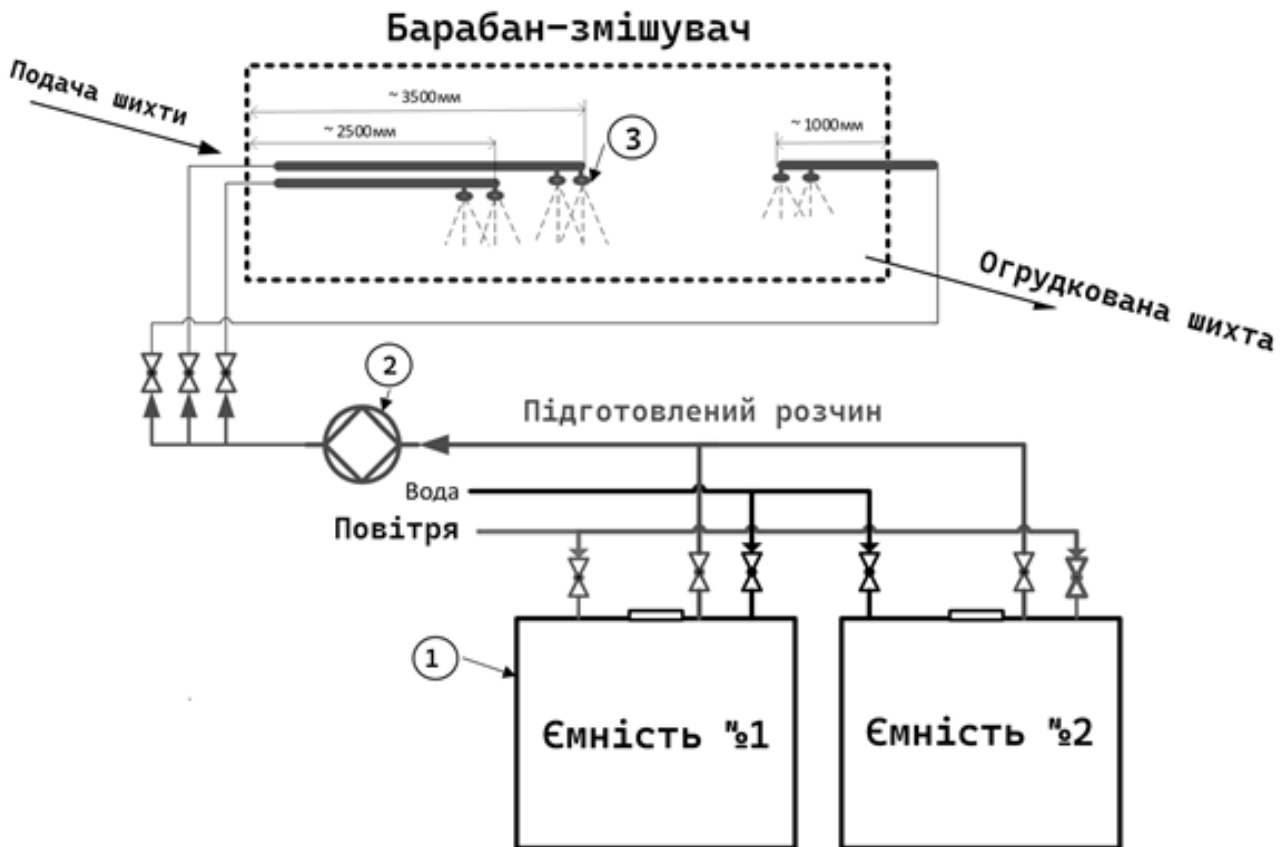


Рис. 4. Схема промислової подачі активатора грудкування в барабан-змішувач: 1 — ємності для підготовки суспензії; 2 — циркуляційний насос; 3 — форсунки-розпилювачі

дала 0,8—0,9 м³/год. Слід зазначити, що витрата активатора визначалася спеціалістами НВФ «КОШ» орієнтовно, через відсутність витратоміра, за мітками на пластикових ємностях.

Подача дослідного розчину з ємностей в барабан-змішувач здійснювалась по чергово, згідно зі схемою: одна, робоча, подає активатор в барабан, друга, резервна, наповнюється водою для підготовки наступної порції розчину. Оскільки подача води в резервну ємність здійснювалась з технологічного трубопроводу подачі води на грудкування після шайби витратоміру — це викликало труднощі для агломератчиків по регулюванню процесу грудкування. Після першого етапу випробувань 28.02.24 (марка А) подачу води для приготування розчинів підключили до незалежного джерела.

Згідно з представленими розрахунками спеціалістами ТОВ НВФ «КОШ» за результатами проведених випробувань питома витрата активатора грудкоутворення, що подавався в барабан-змішувач для стабілізації процесу грудкування аглошихти, складала:

— **на I етапі**, концентрату активатора марки **А — 40 л/год**, що в перерахунку на сухий залишок складає 5 кг/год;

— **на II етапі**, концентрату активатора марки **Б — 30 л/год**, що в перерахунку на сухий залишок складає 6 кг/год;

— **на III етапі**, концентрату активатора марки **В — 100 л/год**, що в перерахунку на сухий залишок складає 11 кг/год.

При плануванні проведення випробувань спеціалістами НВФ «КОШ» розрахунок початково виконувався з орієнтовного шихтового навантаження на агломашині 120 т шихти на годину при питомій витраті активатора (в перерахунку на сухий залишок) 100 гр/т шихти з метою покращення грудкування в барабані змішувачі і, як наслідок, отримання приросту продуктивності агломашини близько 10 %. Фактична питома витрата активатора на тону шихти за етапами склала відповідно 43,44 гр/т, 52,98 гр/т і 95,35 гр/т. При цьому середня питома продуктивність а/м № 6 за дослідні періоди складала 1,263 т/м²*год проти 1,292 т/м²*год в базових періодах.

В табл. 2 наведено дані розрахунку питомої витрати активатора грудкоутворення для кожного етапу випробувань згідно з даними за питомою продуктивністю а/м № 6, шихтовим навантаженням та представлених НВФ «КОШ» годинних витратах активатора.

Визначення механічної міцності агломерату (ДСТУ 3200-95 «Руди залізні та марганцеві, агломерати та окатиші. Метод визначення міцності в обертовому барабані») з агломашини № 6 в кожному періоді відбувалось 1 раз на 8-ми годинну зміну згідно з вимогами ТИ 226-ОА-02-2019 «Виробництво флюсова-

Таблиця 2

Витрата активатора грудкоутворення за етапами випробувань

Марка активатора	Чистий час роботи а/м № 6	Питома витрата шихти	Питома продуктивність а/м № 6	Шихтове навантаження на а/м № 6	Витрата активатора в барабан-змішувач	Витрата активатора в перерахунку на суху фракцію
	год	т/т агломерату	т/м ² *год	т шихти/год	л/т шихти	гр/т шихти
А	5,50	1,449	1,271	115,10	0,348	43,44
Б	4,83	1,453	1,247	113,24	0,265	52,98
В	3,17	1,450	1,273	115,37	0,867	95,35

ного агломерату» та СТП 226.01.01-19 «Агломерат офлюсований. Технічні вимоги та правила прийомки».

Вміст фракції «-5 мм» визначався розсівом агломерату на доменній печі № 4 один раз на 8-ми годинну зміну відповідно до «Методики проведення розсіву агломерату на ДП-4». При проведенні випробувань в дослідний період (активатор марки Б) даний показник не визначався через зупинку ДП-4 на планово-попереджувальні ремонти (ППР).

Результати випробувань агломератів, виготовлених у дослідному і базовому періодах, наведено в табл. 3.

Під час проведення випробувань відбувався відбір проб агломерату, виготовленого на агломашині № 6 в дослідних періодах при подачі активатора в барабан-змішувач та в базових періодах. Результати досліджень агломератів та хімічний аналіз наведено в табл. 4.

Таблиця 3

Якість агломерату

Показник	Періоди експерименту					
	Марка А		Марка Б		Марка В	
	Дослід	База	Дослід	База	Дослід	База
Механічна міцність агломерату, %:						
- Показник опору удару	71,3	73,0	78,7	73,3	73,3	73,3
- Показник опору стиранню	6,7	6,0	6,0	6,0	6,7	7,3
Вміст дріб'язку в агломераті, %	6,87	7,05	—	6,0	6,80	6,40

При подачі в барабан-змішувач а/м № 6 активатора (різної концентрації) виробництва ТОВ НВФ «КОШ» склад агломерату загалом не змінювався, і в

базовому, і в дослідному періодах фіксувалися значення вмісту заліза та інших компонентів в межах допустимих коливань.

Таблиця 4

Хімічний склад агломерату

Дата	Період	Марка активатора ТОВ НВФ «КОШ»	Хімічний склад, %				
			Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Основ.
28.02.24 р.	Дослід	А	59,83	17,18	9,43	5,77	1,63
	База		60,94	12,23	8,22	5,45	1,51
29.02.24 р.	Дослід	Б	58,68	13,79	10,45	5,52	1,89
	База		58,87	12,46	10,40	5,73	1,82
01.03.24 р.	Дослід	В	59,88	15,61	9,49	6,14	1,55
	База		58,88	13,05	9,83	5,79	1,70

Висновки

При подачі в барабан-змішувач а/м № 6 активатора (різної концентрації) виробництва ТОВ НВФ «КОШ» його питома витрата (в перерахунку на сухий залишок) за всі три етапи випробувань складала: А — 43,44 гр/т; Б — 52,98 гр/т і В — 95,35 гр/т. Використання активатора для всіх трьох концентрацій не призвело до зростання продуктивності агломашини № 6. При цьому на всіх трьох дослідних етапах основні параметри агломераційного процесу на а/м № 6: швидкість а/м, розрідження в колекторі, температура вихідних газів у вакуум-камері (в/к) № 13 не

змінились і залишились на рівні базових показників.

Якість агломерату в дослідні періоди відповідала вимогам СТП 226.01.01-19 «Агломерат флюсований. Технічні вимоги та правила прийомки» і склало за механічною міцністю: опір удару в середньому за три періоди склав 74,4 %, опір стиранню — 6,47 %, що майже ідентично базовим показникам 73,2 % та 6,43 % відповідно.

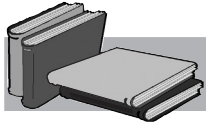
Вміст фракції «-5 мм» в агломераті в дослідних періодах в середньому складав 6,84 % порівняно з 6,48 % для базових періодів.

Після порівняння результатів, отриманих в лабораторії та в промислових умовах, очевидно, що в барабані-змішувачі необхідно створення зон

концентрації фракції «-3 мм».

В поточних промислових умовах важко досягти вагомого підвищення ефективності грудкування добавками будь-якого виду до шихти без удосконалення конструкції самого барабана-змішувача.

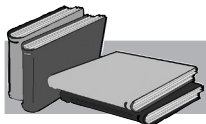
Зміна розташування точки розпилювання води/активатора грудкування дає більший вплив на ефективність процесу, ніж окреме додавання активатора.



ЛІТЕРАТУРА

1. Третьяков Ю.И., Маковенко В.Т., Пилипчик А.Д. Бентонит. Минеральные ресурсы Украины та світу на 01.01.2004 р. *Державний комітет природних ресурсів України, Державне науково-виробниче підприємство «Геоінформ України»*. Київ, 2005. С. 292—295.
2. Ripke S.J., Kawatra S.K. Can fly-ash extend bentonite binder for iron ore agglomeration? *International Journal of Mineral Processing*. 2000. Vol. 60. Iss. 3—4. P. 181—198. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(00\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(00)00015-6)
3. Плотников В.В., Саїтгареев Л.Н. Інтенсифікація агломераційного процесу за рахунок вдосконалення технології комбінованого огрудкування і завантаження шихти. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2012. № 25. С. 41—46. URL: https://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech/article/view/29206 (дата звернення: 10.07.2025).
4. Бочка В.В., Сова А.В., Двоєглазова А.В., Ягольник М.В., Ващенко М.О. Особливості спікання агломерату при використанні шихти з попередньо підготовленими композитами. *Сучасні проблеми металургії*. 2019. № 22. С. 3—12. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2019.01.01>
5. Бочка В.В., Двоєглазова А.В., Сова А.В., Бочка Р.С., Бойко М.М. Оцінка ефективності використання комплексного флюсу при спіканні агломерату. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2017. № 3. С. 9—14.
6. Eisele T.C., Kawatra S.K. A review of binders in iron ore pelletization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2003. Vol. 24. Iss. 1. P. 1—90. <https://doi.org/10.1080/08827500306896>
7. Moraru V. New nanofluids, based on clay minerals, as promising heat carriers for energetics. *Clay Minerals*. 2018. Vol. 53. Iss. 2. P. 255—269. <https://doi.org/10.1180/clm.2018.17>

Надійшла 21.07.2025



REFERENCES

1. Tretyakov, Yu. I., Makovenko, V. T., & Pilipchik, A. D. (2005). Bentonit. Mineralni resursi Ukrayini ta svitu na 01.01.2004 [Bentonite. Mineral resources of Ukraine and the world as of 01.01.2004]. *Derzhavnij komitet prirodnikh resursiv Ukrayini, Derzhavne naukovo-virobniche pidpriemstvo «Geoinform Ukrayiny»*. Kyiv, pp. 292–295 [in Ukrainian].
2. Ripke, S. J., & Kawatra, S. K. (2000). Can fly-ash extend bentonite binder for iron ore agglomeration? *International Journal of Mineral Processing*, 60(3–4), 181–198. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(00\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(00)00015-6)
3. Plotnikov, V. V., & Saithareyev, L. N. (2012). Intensyfikatsiia ahlomeratsiinoho protsesu za rakhunok vdoskonalennia tekhnolohii kombinovanoho ohrudkuvannia i zavantazhennia shykhty [The intensification of the sintering process due to improvements in technology combined pelletizing and loading charge]. *Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences*, (25), 41–46. https://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech/article/view/29206 [in Ukrainian].
4. Bochka, V. V., Sova, A. V., Dvoyehlazova, A. V., Yagolnik, M. V., & Vashchenko, M. O. (2019). Osoblyvosti spikannia ahlomeratu pry vykorystanni shykhty z poperedno pidhotovlenymy kompozytamy [Features of agglomerate sintering using batch with previously prepared composites]. *Modern Problems of Metallurgy*, (22), 3–12. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2019.01.01> [in Ukrainian].
5. Bochka, V. V., Dvoiehlazova, A. V., Sova, A. V., Bochka, R. S., & Boyko, M. M. (2017). Otsinka efektyvnosti vykorystannia kompleksnoho flisu pry spikanni ahlomeratu [Evaluation of the efficiency of the using an complex flux on the sintering process]. *Metallurgical and Mining Industry*, (3), 9–14 [in Ukrainian].
6. Eisele, T. C., & Kawatra, S. K. (2003). A review of binders in iron ore pelletization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 24(1), 1–90. <https://doi.org/10.1080/08827500306896>
7. Moraru, V. (2018). New nanofluids, based on clay minerals, as promising heat carriers for energetics. *Clay Minerals*, 53(2), 255–269. <https://doi.org/10.1180/clm.2018.17>

Received 21.07.2025

Summary

V.O. Petrenko¹, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of Department,
e-mail: petrenko_v@email.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5017-1674>

D.V. Komysh², PhD (Engin.), Research Scientist,
e-mail: dmytro.komysh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4820-9447>

M.M. Boiko¹, PhD (Engin.), Associate Professor, Assistant Professor,
e-mail: m.m.boiko@ust.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3557-9027>

D.Yu. Kovalov¹, PhD student, e-mail: Dmitriy.Kovalev@arcelormittal.com,
<https://orcid.org/0009-0004-5816-4419>

D.V. Vereshchak³, Project Manager, e-mail: dv.vereschak@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0006-5267-3823>

¹*Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro, Ukraine)*

²*The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

³*LLC NPF "KOSH" (Dnipro, Ukraine)*

Using Nanofluids to Improve the Efficiency of Iron-Containing Charge Agglomeration

The article investigates the possibility of improving the efficiency of iron-containing charge agglomeration by using nanofluids based on colloidal solutions of clay minerals. The selection of an agglomeration activator composed of attapulgite and montmorillonite is substantiated, given their high specific surface area, hydrophilicity, ion exchange capacity, and natural nanoscale structure, which enhance the agglomeration properties of the charge. A stable nanofluid was obtained through ultrasonic dispersion and applied in laboratory experiments to simulate the agglomeration process.

Laboratory studies demonstrated that the introduction of nanofluid significantly increases the yield of the target agglomeration fraction (3–7 mm), especially at an optimal moisture content of approximately 12 %. However, further moisture increase to 13–13.5 % led to over-wetting, which negatively affected the strength of the granules and caused particle agglomeration.

Industrial-scale pilot tests were conducted at sintering machine No. 6 of the agglomeration shop of ArcelorMittal Kryvyi Rih using three different grades of agglomeration activator produced by the company "KOSH." A dosing and injection system was designed for feeding the nanofluid into the mixing drum. Despite the positive effect observed in laboratory conditions, the pilot-scale trials did not show a significant increase in the productivity of the sintering machine. It was determined that the main limiting factor is the imperfect design of the mixing drum, which fails to create optimal conditions for efficient granule formation.

The obtained results confirm the potential of using nano-dispersed clay-based additives in the agglomeration process. However, they also highlight the need for technical modernization of the equipment in order to fully realize the benefits of these innovative process enhancements.

Keywords

Nanofluid, iron ore agglomerate, agglomeration, agglomeration activator, colloidal solutions.