


**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

ПІДГОТОВКА МЕТАЛУРГІЙНОЇ СИРОВИНИ:

**методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
та індивідуальних завдань**

Запоріжжя 2024



УДК 669.162.1(072)
П32

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 2 від 25.10.2024 р.)

Укладачі:

Ягольник М. В., канд. техн. наук, доцент,
Бойко М. М., канд. техн. наук, доцент

П32 Підготовка металургійної сировини : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт та індивідуальних завдань / уклад.: М. В. Ягольник, М. М. Бойко. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 28 с.

У методичних рекомендаціях наведено поради і методичні підходи до виконання лабораторних робіт, які виконуються в процесі вивчення дисципліни. Матеріал містить короткі теоретичні викладки за тематикою робіт, завдання для їх виконання, порядок оформлення звіту та питання для підготовки до їх захисту.

УДК 669.162.1(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТИНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



Зміст

ВСТУП	4
Лабораторна робота № 1	
Агломерація залізорудних матеріалів	5
Лабораторна робота № 2	
Моделювання обпалу залізорудних окатишів з визначенням показників процесу та якості готової продукції	12
Індивідуальне завдання № 1	
Розрахунки показників етапів підготовки сировини	21
Індивідуальне завдання № 2	
Характеристика особливостей підготовки залізорудної металургійної сировини	25
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	27



ВСТУП

Підготовка металургійної сировини – основний спеціальний курс металургійного спрямування, який дозволить Вам зрозуміти і професійно використовувати технічну термінологію, досліджувати, аналізувати і вдосконалювати технологічні процеси підготовки шихтових матеріалів в основних металургійних переділах, а також застосовувати на практиці методи розрахунків головних показників процесів підготовки сировини; складу шихти, витрати флюсів і палива; визначати ТЕП традиційних та нових процесів окискування та параметри якості окискованих матеріалів.

Особливістю курсу є розгляд першої ланки металургії як базової для подальшого металургійного переділу. В рамках даного підходу курс інтегрує знання знань та навички, необхідні при організації і здійсненні технологічних процесів підготовки сировини, виробництва окискованих шихтових матеріалів традиційними та новими способами, експлуатації технологічного обладнання агломераційних та обпалювальних фабрик.

Правила виконання лабораторних робіт

1. Лабораторні роботи виконуються згідно із затвердженим семестровим графіком, який викладається в Moodle.
2. Звіт про виконання роботи в обов'язковому порядку завантажується в систему Moodle в розділі відповідного курсу.
3. При захисті роботи студент зобов'язаний знати основні теоретичні та практичні положення за даною роботою.

Загальні вказівки щодо оформлення звіту та критерії оцінювання

Звіт повинен містити найменування та мету даної роботи, виконані розрахунки та графіки, за потреби висновки і практичні рекомендації.

Лабораторні роботи здобувачами виконуються за допомогою обчислювальної техніки. Результатом виконання лабораторної роботи є оформлений за вимогами та зданий звіт. Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за виконання кожної лабораторної роботи – 10.



Лабораторна робота № 1

Агломерація залізорудних матеріалів

Мета та етапи роботи:

1. Ознайомитись із сировинними (шихтовими) матеріалами для агломерації.
2. Засвоїти прийоми розрахунку, дозування, зволоження та огрудкування шихти.
3. Провести візуальне спостереження за процесом спікання агломерату та ознайомитись із зовнішнім виглядом агломерату.
4. Зробити виміри показників агломераційного процесу під час спікання.
5. Визначити продуктивність агломераційної установки та якість агломерату, зробити висновки.

Загальні відомості

Агломерацією називається процес окускування матеріалів шляхом спікання їх за рахунок спалювання палива в шарі гранульованого матеріалу або підведення теплоти з боку. Найбільшого поширення агломерація набула для спікання руд чорних і кольорових металів, хоча вона застосовна й у теплової обробки багатьох інших матеріалів. Головну роль грає метод агломерації просмоктуванням, при якому горіння палива в шарі матеріалу, що спікається здійснюється за рахунок повітря, що безперервно просмоктується.

Процес агломерації, винайдений у 1887 році англійцями Ф. Геберлейном і Т. Хантінгтоном, спочатку використовувався в кольоровій металургії для обпалу та окускування сульфідних руд, сірка яких служила паливом для процесу спікання.

Пізніше німецькі інженери В. Джоб (1902 р.) і С. Завельсберг (1905 р.) застосували цей метод до піритних недогарків, пилюватих залізних руд і колошникового пилу. Вміст сірки в залізнях зазвичай невеликий. Тому рудний пил попередньо змішувався з 6-7% (за масою) коксової дрібниці. Теплоти, що виділяється при горінні коксової дрібниці, було достатньо плавлення шихти (1300 - 1500°C).

Процес спікання залізняку здійснювався спочатку в чашевих установках періодичної дії продуванням шару, що спікається, в чаші знизу вгору. Однак продування шару пов'язане з низкою технологічних незручностей, що обмежують продуктивність установок. Головними є висока запиленість цехів і перехід при натиску вище 5 кПа до режиму киплячого шару. У 1906 р. А. Дуайт і Р. Ллойд запропонували принцип вакуумної агломерації з просмоктуванням повітря через шар, що спікається зверху вниз. При цьому вакуум (до 20 кПа) під колосниковою решіткою створюється за допомогою вентилятора, що відсмоктує - ексгаустера. Хід процесу спікання руд і концентратів у чашевій установці, що експлуатується, як це прийнято зараз, у вакуумному режимі,

відображено на рис.1.1. Першим на колосникові грати укладають шар постілі - агломерату крупністю 10-20 мм без палива. Постіль перешкоджає просипанню шихти через зазори між колосниками (до 6 мм), зменшує винос пилу. Крім того, шар постілі на кінцевій стадії процесу агломерації оберігає колосникові грати від впливу високих температур, підвищуючи її стійкість і запобігаючи приварюванню пирога готового агломерату до колосникових грат.

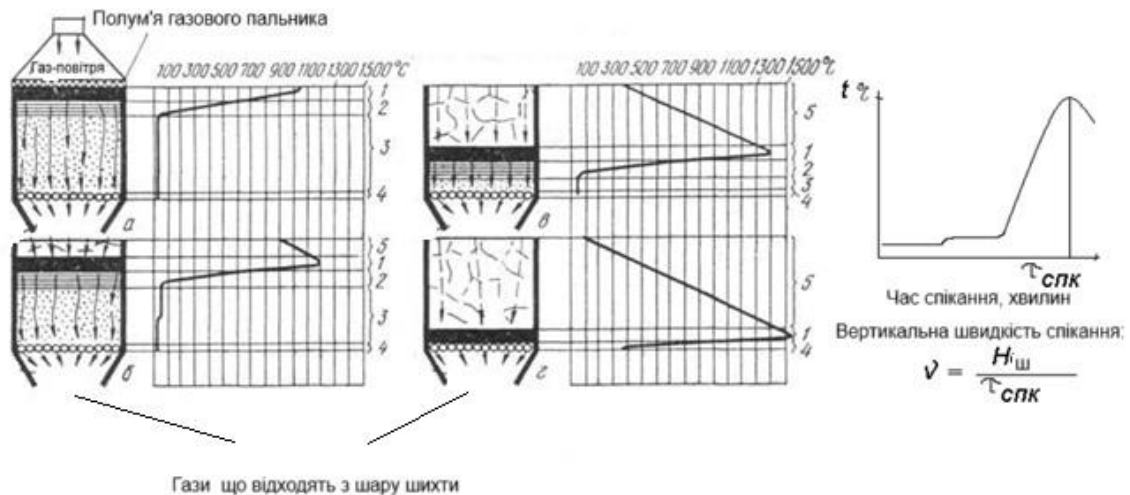



Рисунок 1.1 - Схематичний розріз чашевої агломераційної установки у різні моменти після початку спікання: а – кінець запалення шихти полум'ям газового пальника (у верхній зоні спалахнула коксова дрібниця; під зоною горіння зона підігріву шихти); б – через 1-2 хв після закінчення запалювання (пальник вимкнений і відведений убік; в чашу засмоктується повітря; над зоною горіння вже утворився шар готового агломерату); в – через 8-10 хв після початку спікання (зона горіння пройшла вже більше половини шляху до колосникових грат; шар готового агломерату з кожною хвилиною зростає); г - перед закінченням процесу (зона горіння в крайньому нижньому положенні). Показано також розподіл температур по висоті шару, що спікається: 1 – зона горіння твердого палива; 2 – зона сушіння та підігріву шихти; 3 – зона сирої шихти; 4 – постіль; 5 – зона готового агломерату

До складу агломераційної шихти крім пиловатих руд і концентратів, входять також колошниковий пил, вапняк, вапно, коксовий дріб'язок, антрацитовий штаб і зворот - дрібний (<5 мм) недостатньо спечений агломерат, що спрямовується на повторне спікання. Після ретельного змішування, зволоження та огрудкування шихта укладається в аглочашу поверх постілі, після чого включають ексгаустер і, підводячи до поверхні шару, що спікається газовий пальник, проводять запалювання шихти полум'ям газу (1200-1300°C). Під дією вакууму полум'я втягується в шар шихти, що спікається, яка складається з дрібних частинок, грудок і палива.



Поверхня шихти дуже велика. Величезна поверхня шихти, її велика теплоємність, що здається, обумовлюють високу інтенсивність теплообміну між шихтою і газом. Газ, рухаючись у шихті по дорозі 20-30 мм, охолоджується до 800-850 °С, тобто до температури нижче температур запалення коксової дрібниці у продуктах згоряння, що містять 5-10% O₂.

Таким чином, тільки в цій вузькій по висоті зоні (зоні горіння твердого палива) частинки коксової дрібниці нагріті до температури займання і мають можливість горіти. Частинки палива, що знаходяться в шихті нижче ізотерми 800-850°С, не горять, так як ще не нагріті до температури займання і омиваються продуктами згоряння коксової дрібниці, що надходять зверху, що містять всього 3-4% O₂. Для стійкого горіння коксової дрібниці в газовій фазі повинно бути не менше 5 - 6 % O₂. Для запалювання коксової дрібниці у вузькому шарі достатньо 45-60 с, і запальний пальник відводять убік.

Надалі вся необхідна для процесу агломерації теплота виділяється при горінні частинок коксової дрібниці в шарі, що спікається. Під зоною горіння, нижче ізотерми 800-850 °С, розташовується зона підігріву та сушіння шихти (див. рис. 1), куди зверху надходять продукти згоряння. Тут частки твердого палива поступово нагріваються і спалахують, якщо в продуктах згоряння міститься достатня для горіння кількість кисню, то фронт горіння переміщається вниз.

Оскільки до цього моменту частинки коксової дрібниці, що розташовувалися вище, вигоряють, то зона горіння твердого палива повільно рухається до колосникових ґрат, дещо збільшуючи свою товщину (див. рис. 1.1) і маючи перед собою зони підігріву і сушіння шихти. Нижче розташовуються зони сирої шихти та постілі. Температура в зоні горіння твердого палива висока (1200-1500 °С) та достатня для плавлення речовини шихти. Після вигорання твердого палива розплав охолоджується та починається його кристалізація з утворенням агломерату. Готовий агломерат таким чином є продуктом кристалізації залізистого розплаву. У міру руху зони горіння твердого палива товщина шару готового агломерату постійно збільшується і до кінця процесу агломерат займає весь об'єм чаші (див. рис. 1.1).

Швидкість процесу агломерації характеризується вертикальною швидкістю спікання (v , мм/хв). Це швидкість руху зони високих температур. При її обчисленні виходять із часу спікання (t , хв) і висоти (H , мм) шару, що спікається $v = H/t$.

Тривалість спікання визначається досягнення максимальної температури відхідних газів. На аглофабриках країни, залежно від газопроникності шихти, вертикальна швидкість спікання коливається в межах 20-30 мм/хв. Тривалість агломерації становить відповідно 8-12 хв.

Чашеві агломераційні установки періодичної дії характеризуються відносно низькою продуктивністю, тому що майже половина робочого часу при їх експлуатації йде на завантаження чаш шихтою, запалення та вивантаження готового агломерату. З винаходом в 1906 р. безперервно

діючої стрічкової агломераційної машини будівництво великих чашевих агломераційних установок було скорочено і в даний час у всьому світі не більше 3% агломерату виготовляється на установках цього типу.

Перша стрічкова агломераційна машина, конструкція якої була запропонована у 1906 р. американцями А. Дуайтом та Р. Ллойдом, увійшла в експлуатацію у 1911 р. у м. Бедсборо (США, шт. Пенсильванія). Машини цього типу набули широкого поширення у багатьох країнах. Нині у світі працює понад 1000 агломераційних стрічок сумарною продуктивністю до 450 млн т агломерату на рік.

Хід процесу спікання на конвеєрних машинах наведено на рис. 1.2.

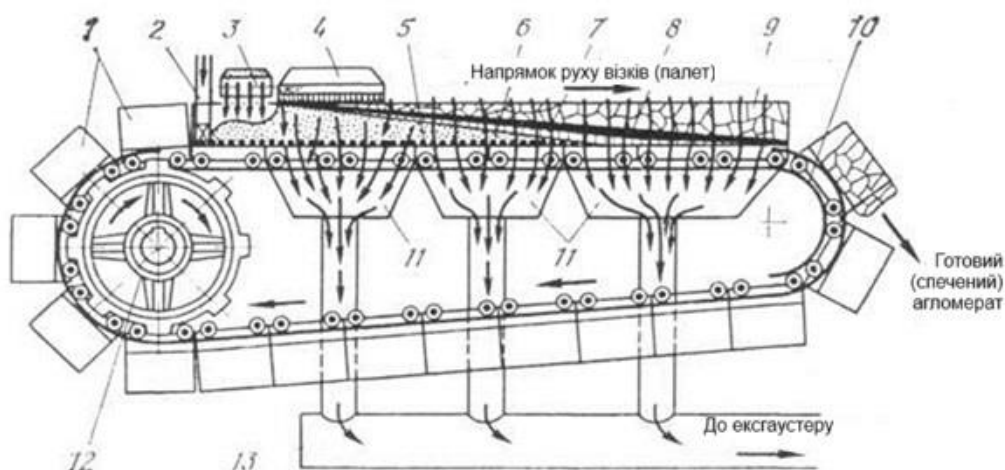


Рисунок 1.2 - Схема, що ілюструє перебіг процесу спікання на агломераційній машині стрічкового типу: 1 – спікальні візки-палети; 2 – укладальник постілі; 3 – човниковий живильник аглострічки шихтою; 4 - газовий запальний горн; 5 – ліжко; 6 – зона сирої шихти; 7 – зона сушіння та підігріву шихти; 8 - зона горіння твердого палива; 9 - зона готового агломерату; 10 - розвантажувальний кінець машини; 11 – вакуум-камери; 12 - провідна зірочка приводу стрічки; 13 – збірний газопровід

Стрічкова агломераційна машина являє собою замкнутий ланцюг рухомих спальних візків - палет, що переміщуються по рейках верхньої горизонтальної робочої гілки машини під дією зірочок приводу (12), а по рейках нижньої похилої (2 - 3°) холостої гілки машини в перевернутому положенні.

Захоплення палет з холостої гілки та транспортування їх на верхню робочу гілку машини також здійснюються за допомогою зірочок приводу (12). На сталевій рамі кожної палети монтується три ряди колосників. Таким чином, палета являє собою колосникові ґрати, що рухаються. Під час руху робочої гілки палети проходять під вакуум-камерами (11), з'єднаними через збірний газопровід (13) з екстаустером. Спеціальне ущільнення перешкоджає прососу повітря у вакуум-камери через стик з палетами, що рухаються. Спікальні візки рухаються робочою гілкою машини одна за одною без розривів або зазорів.

Порядок проведення роботи

1. Розрахунок необхідної кількості шихтових матеріалів за масою (занести в таблицю 1.1).
2. Дозування (зважування) компонентів шихти згідно з розрахунками (див. табл. 1.1).
3. Змішування компонентів шихти.
4. Зволоження до необхідної кількості води (7%). Поступово розподілити воду по шихті і змішувати протягом 1-1,5 хв.
5. Огрудкування шихти протягом 1-2 хв.
6. Підготовка чаші (встановити колосникову решітку) і укласти на грати «постіль».
7. Поступово без утряски завантажити огрудковану шихту в чашу.
8. Включити ексгаустер, виставити початкове розрядження під колосниковими гратами.
9. Здійснити запалення поверхні шихти протягом 1 хв. шляхом підведення теплоносія за рахунок спалювання природного газу у пальнику.
10. Через кожну хвилину (півхвилини) записувати показання пристроїв вимірювання температури газів що відходять та розрідження під колосниковими гратами.
11. Результати вимірів занести до таблиці 1.2. За отриманими результатами побудувати графіки залежності температури і розрідження від часу спікання.
12. Визначити усадку шару. Розрахувати у відсотках від вихідної висоти всього шару.
13. Після охолодження вивантажити спечений агломерат з чаші, визначити: масу спіку (вага пирога), масу спіку без «постілі», вихід придатного за вмістом фракції +10 мм. Розрахувати у відсотках.
14. Виконати випробування міцності придатної фракції (скидання на копрі 2 рази). Визначити масу фракції +5мм (міцність на удар) та -0,5 мм (міцність на стирання) після випробування. Розрахувати у відсотках.
15. Визначити продуктивність (т/год) та питому продуктивність (т/м²·год) установки. Занести показники продуктивності та якості до таблиці 1.3.

Опис установки для спікання

Схема установки на якій проводяться спікання приведена на рис. 1.3.

Чаша (2) представляє собою циліндричну трубу діаметром 80 мм, висотою 320 мм, корисною висотою 300 мм. Всередину чаші укладається колосникова решітка с діаметром комірок 5 мм.

Для вимірювання температури газів що відходять у вакуум-камері (газоході) (6) встановлена термopара (5), показання якої відраховуються за потенціометром (11). Для визначення розрідження під колосниковою решіткою використовується вакуумметр (12). Розрідження створюється ексгаустером, в якості якого використовується водокільцевий насос (8).

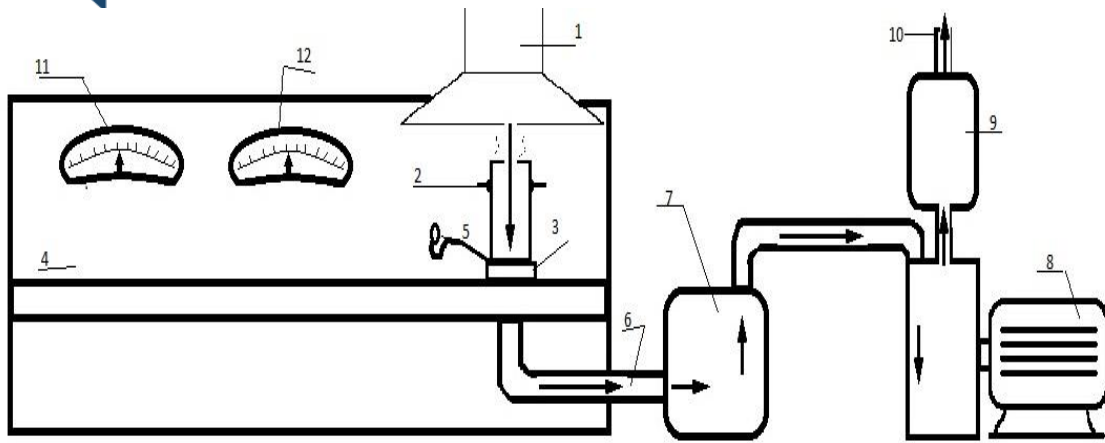


Рисунок 1.3 - Схема установки по спіканню залізорудних матеріалів: 1 - витяжка; 2 - агломераційна чаша; 3 - стенд; 4 - стіл; 5 - термopара; 6 - газохід; 7 - відстійник; 8 - водокільцевий насос (ВН-2) з електродвигуном; 9 - скрубєр; 10 - свіча; 11 - потенціометр; 12 – вакуумметр

Дослідження та розрахунок показників аглопроцесу

Після завершення процесу спікання проводимо дослідження готового агломерату. При цьому визначаємо такі показники: кількість завантаженої шихти, час спікання, швидкість спікання, висоту пирога готового агломерату, усадку шару шихти, масу агломерату без маси завантаженої постелі.

Далі визначаємо вихід годного агломерату для досліджень в умовах лабораторії по фракції +10 мм за допомогою сита з відповідною коміркою. Для визначення показників якості агломерату використовувалася нестандартна методика. З годного агломерату відбиралася проба масою 1 кг завантажувалася у спеціальний пристрій (чашку). Зверху на таку пробу з висоти 1 м під дією сили ваги падала спеціальна металева гиря у вигляді «таблетки» 2 рази. Після випробування проба за допомогою сит розсівалася на фракції 0-0,5 та + 5 мм. Показники міцності на стирання і на удар після випробувань обчислювалося у відсотках до всієї маси проби (1 кг) по кількості фракції 0-0,5 і +5 мм, відповідно. Також розраховували питому продуктивність агломераційного процесу.

Обчислення питомої продуктивності агломераційного процесу для умов лабораторії проводимо використовуючи наступну формулу:

$$P_{\text{пит}} = 0,06 \cdot Q/s \cdot t,$$

де P – питома продуктивність агломераційного процесу, $t/m^2 \cdot \text{год}$;

Q – вихід годного агломерату, кг;

s – площа колосникової решітки агломераційної чаші (для лабораторної чаші $s = 0,005 \text{ м}^2$);

t – час спікання, хв.

Таблиця 1.1 - Склад агломераційної шихти

Компонент	Кількість матеріалу			
	1		2	
	Доля в шихті, %	Маса, г	Доля в шихті, %	Маса, г
Руда				
Концентрат				
Зворот				
Вапняк				
Паливо				
Всього	100	1500	100	1500
+Вода	7	105	7	105

Таблиця 1.2 - Показники процесу спікання

Час, хв.	Розрідження під колосниковою решіткою, мм.вод.ст.		Температура газів, що відходять, °С	
	№ шихти			
	1	2	1	2
Початкові умови	500	500	20	20
1				
2				
...				

За отриманими результатами необхідно побудувати графіки залежності температури і розрідження від часу спікання. Розрахувати техніко-економічні показники та занести до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Техніко-економічні показники агломераційного процесу

№ шихти	Тривалість спікання, хв	Усадка шару шихти		Вертикальна швидкість спікання, мм/хв.	Вихід годного (+10 мм)		Продуктивність, т/год	Питома продуктивність, т/м ² ·год	Вихід класу +5 мм (міцність на удар)		Вихід класу -0,5 мм	
		мм	%		кг	%			кг	%	кг	%
1												
2												

Після отримання усіх експериментальних та розрахункових даних необхідно зробити технологічні висновки та практичні рекомендації.



Лабораторна робота № 2

Моделювання обпалу залізорудних окатишів з визначенням показників процесу та якості готової продукції

Мета та етапи роботи:

1. Ознайомитись із сировинними (шихтовими) матеріалами для виробництва окатишів.
2. Засвоїти прийоми розрахунку, дозування, зволоження та огрудкування шихти.
3. Провести моделювання процесу обпалу окатишів та ознайомитись із їх зовнішнім виглядом.
4. Зробити виміри показників процесу та якості окатишів.
5. Побудувати графіки, зробити висновки.

Загальні відомості


Технологічна схема отримання окатишів являє собою комбінацію двох етапів: формування окатишів (гранул) шляхом окомкування вологих концентратів з добавками флюсів (вапняку) і в'язучих добавок (бентоніт) на огрудкувачах і зміцнення гранул (випалювальним або безвипалювальним способами) для надання окатишам необхідної міцності, транспортування до доменних цехів та проплавлення їх у доменних печах.

Процес утворення сирих окатишів починається при зволоженні матеріалу водою. Крапля води при контакті з тонкоподрібненим матеріалом зберігає свій розмір і зерна концентрату переходять усередину краплі. Цей процес триває доти, доки вся вода не витрачається на поглинання зерен. У місці падіння краплі матеріал перезволожується, утворюється плівка води, що обволікає кілька частинок. Під дією механічних сил при перемішуванні частинок концентрату відбувається їх зближення, вода витісняється на поверхню та утворює рідинні містки, які частинки концентрату з'єднують у грудку. Внаслідок цього утворюються майже пластичні згустки матеріалу неправильної форми.

Після короткочасної взаємодії частинок в огрудкувачі відбувається їх перебудова і обгорткування, утворюються сферичні пористі зародки окатишів. Цей перехід від згустків до зародків відбувається, як правило, дуже швидко і потребує мінімальної кількості обертів огрудкувача.

Процес утворення зародків, як першого етапу утворення сирих окатишів, складається з трьох стадій: а) утворення трифазних зародків грудок (частки, вода, повітря); б) швидке зростання грудок (витіснення повітря); в) утворення двофазної грудки (частки та вода).

Провідним фактором, що визначає міцність зчеплення частинок у вологому стані, є питома поверхня матеріалу, яка тим більша, чим вищий вміст найдрібніших фракцій. Так, зростання питомої поверхні викликає зростання оптимальної вологості концентрату (~ 1,25% на кожні додаткові 100 см²/г), що призводить до зниження продуктивності випалювальних



машин приблизно на 1,2%. Більш щільні сирі котуни викликають зниження швидкості і кінцевий ступінь окислення, що негативно впливає на якість обпалених окатишів. До кожного виду шихти існує оптимальна величина поверхні частинок, значення якої становить 1300 -1500 см²/г.

Іншим важливим фактором, що впливає на обгорткування, є вміст вологи в шихті, який визначають експериментально.

Сирі окатиші повинні мати достатню міцність, щоб уникнути деформації і руйнування при їх доставці до випалювального агрегату, а також гарною термостійкістю, тобто. здатністю не руйнуватися при випаленні. Для посилення цих властивостей в шихту окатишів вводять в'язучі добавки, головним чином, бентоніт, який у кількості 0,5 - 1,5% вводять у шихту перед огрудкуванням. Бентоніт - це глини, що відрізняються тонкою дисперсністю та високим ступенем набухання при зволоженні. Бентоніт в основному складається з монтморилоніту $(Al, Mg)_2 \cdot 3(OH)_2 \cdot (Si_4O_{10}) \cdot nH_2O$ та близьких до нього за складом мінералів. Частина катіонів кристалічних ґрат здатна заміщатися іонами Ca^{2+} і Na^{1+} . При зволоженні бентоніт інтенсивно поглинає воду, збільшуючись обсягом 15-20 раз. Вибір бентоніту обумовлений його здатністю при зволоженні утворювати гелі з надзвичайно розвиненою питомою поверхнею (600 - 900 м²/г), яка приблизно в 7 разів більша за поверхню частинок інших сортів глини. Бентоніт збільшує пористість сирих окатишів, що сприятливо позначається на швидкості видалення вологи під час сушіння окатишів без зниження їх міцності.

Через обмеженість запасів бентоніту та віддаленості його родовищ від місць споживання він є дорогим матеріалом, тому слід шукати більш поширені та дешеві сполучні матеріали. На сучасних фабриках окускування сирі окатиші отримують в огрудкувальних барабанних і тарілчастих (або чашових) типів. Барабанний огрудкувач (рис. 2.1) є циліндричний барабан з гладкою внутрішньої поверхнею, який встановлюють під кутом до горизонту (до 8 - 9°), і обертається на катках (частота обертання 7 - 11 хв⁻¹).

Зародки окатишів при русі в барабані під дією сили тяжіння і відцентрової сили притискаються до поверхні барабана. При цьому на них накопчується шар концентрату дрібної фракції.

Розміри промислових барабанів досить великі: діаметр 3 м і більше, довжина до 14 м. Продуктивність таких агрегатів по сирим окатишам становить 90 - 100 т/год. За барабаном-огрудкувачем встановлюють механічний гуркіт, що відсіває котуни дрібної фракції (як правило, < 6 - 8 мм). Іноді гуркіт поєднують з барабаном у його розвантажувальній частині. Дрібна фракція, або циркуляційне навантаження, що становить 150 - 400% (стосовно кондиційної фракції окатишів), спеціальним транспортером повертається в завантажувальний отвір барабана. Використання циркуляційного навантаження має велике значення для огрудкування, так як в барабан подається велика кількість зародків (дрібних окатишів), що служать центрами обгорткування. Цим

забезпечується висока стабільність роботи барабаних огрудкувачів, що є їх безперечною перевагою. Для рівномірного вивантаження матеріалу з барабана в розвантажувальній частині є спеціальні спіралеподібні вирізи. Запобігання внутрішньої поверхні барабана від абразивного впливу матеріалом і забезпечення умов його перекочування здійснюються гарнісажем (футеровкою), тобто захисним шаром з цього матеріалу. Нормальний хід огрудкування забезпечується при оптимальному шарі гарнісажу. Обвалення гарнісажу призводить до підвищеного виходу некондиційних фракцій. Для контролю товщини гарнісажу передбачені спеціальні очисні пристрої (ножі), які, крім того, що служать для створення на поверхні гарнісажу певної шорсткості, що покращує якість обгорткування.

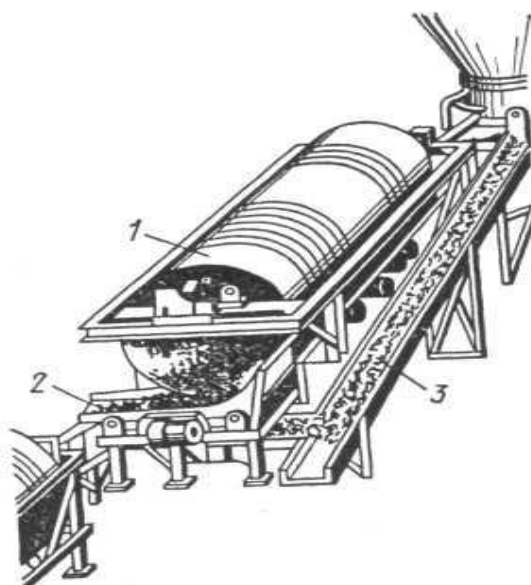


Рисунок 2.1 – Огрудкувач барабанний: 1- барабан; 2 – гуркіт для відсіву дрібниці від сирих окатишів; 3 - циркуляційне навантаження

Чашові, або тарілчасті, огрудкувачі (рис. 2.2) є похило встановлений (під кутом 45 - 60 °) диск з бортом. Вихідна шихта, що завантажується в чашу, що обертається, за рахунок сили тертя між бортом і днищем піднімається на деяку висоту. Скокуючись по похилому днищу, зародки накочують на себе шар тонкого концентрату, перетворюючись на частинки кулястої форми. Враховуючи, що частинки великих розміру та маси при обертанні тарелі можуть підніматися на велику висоту по борту, висота борту регулює кінцевий розмір сирих окатишів.

Діаметр тарелі сучасних промислових грануляторів становить 5-7 м. Їхня питома продуктивність залежить від властивостей шихти і досягає 90 т/год. Тарілчасті гранулятори, поступаючи барабанним у продуктивності та стабільності, забезпечують отримання більш рівномірних по крупності окатишів. Для тарілчастих огрудкувачів, як і барабаних, важливе значення мають збереження якісного шару гарнісажу, правильний вибір кута нахилу і швидкості обертання чаші, і навіть вологості матеріалу.

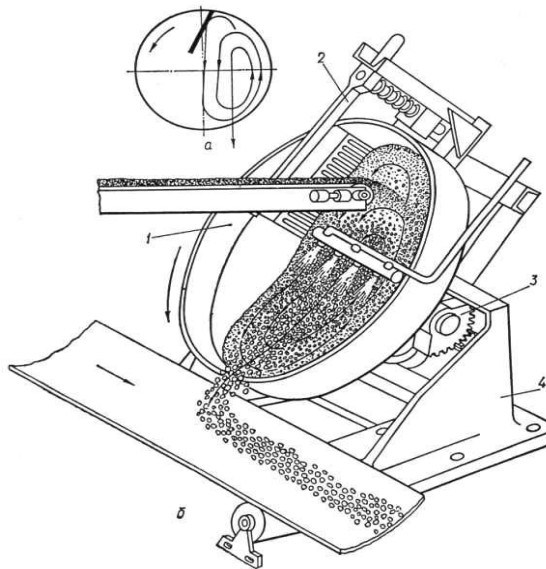


Рисунок 2.2 - Схеми руху матеріалів у грануляторі (а) та загальний вигляд тарілчастого гранулятора (б): 1 – чаша; 2 – встановлення скребків; 3 – механізм зміни кута нахилу; 4 – рама гранулятора

Механічна міцність сирих окатишів має бути достатньою, щоб не відбулося їх руйнування при транспортуванні до випалювальних агрегатів. Зазвичай статичні та динамічні навантаження моделюють випробуваннями відповідно на роздавлювання (опір стискання, кг/ок) та скидання (удар, раз). Випробування на роздавлювання проводять шляхом стиснення окатиша з метою визначення зусилля, за якого окатиші деформуються або руйнуються. Мінімальний опір роздавлюванню одного окатиша повинен становити 9 Н для окатишів діаметром 9,5 мм.

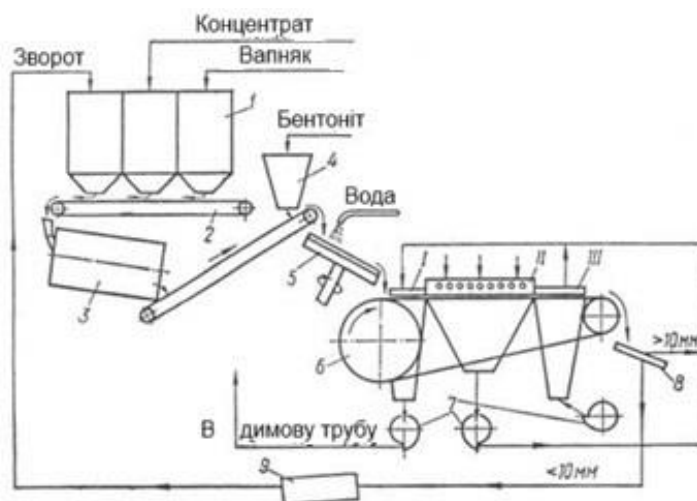


Рисунок 2.3 - Схема виробництва окатишів: 1 – шихтові бункери; 2 – шихтовий транспортер; 3 – змішувальний барабан; 4 – бункер для бентоніту; 5 – дисковий гранулятор; 6 – випалювальна машина; 7 – вентилятори; 8 – гуркіт; 9 – млин подрібнення повернення. Зоні випалювальної машини: I – сушіння; II – випалення; III – охолодження

При випробуванні на скидання важливо правильно вибрати висоту. Відповідно до реальних рівнів висот транспортерів при перевантаженні висота скидання має бути не менше 300 мм. Сирі окатиші повинні витримувати без руйнування не менше 15 скидань з висоти 300 мм.

На рис. 2.4 наведено конструкцію шахтних печей. Шахтні печі особливо широко застосовували в початковий період розвитку виробництва окатишів.

Печі працюють за принципом протитечії: гарячі гази піднімаються крізь стовп окатишів, що опускаються. Для горіння використовують рідке або газоподібне паливо, що спалюється у виносних топках, розташованих по обидва боки шахти печі. У верхній частині печі відбуваються сушіння, підігрів і випалювання окатишів, а в нижній - охолодження окатишів холодним повітрям до 100-150°С. Температура газів становить 150-200°С.

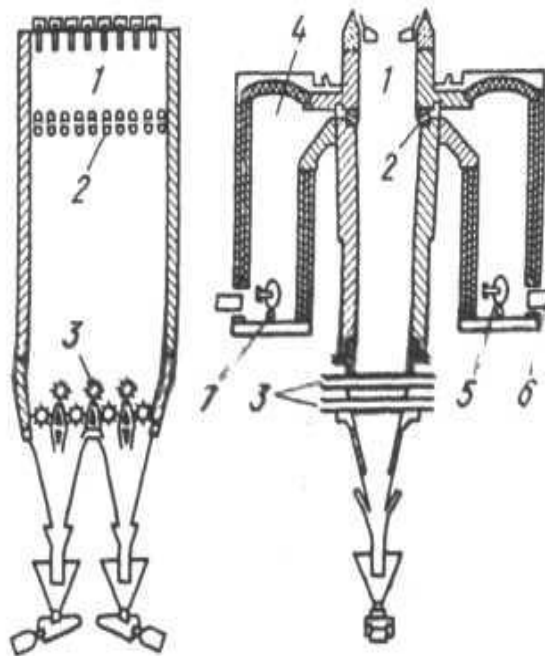



Рисунок 2.4 - Шахтна піч: 1 – зона нагріву; 2 – зона охолодження; 3 - валки, що дроблять спьоки; 4 – камера горіння; 5 - пальник; 6 – труба; 7 - підведення повітря

Процес випалу в протитоці відрізняється досконалістю теплообміну, що забезпечує високий ступінь засвоєння теплоти, тому для шахтних печей характерна низька витрата теплоти.

Відмінність конструкцій шахтних печей головним чином зводиться до способу використання повітря після охолодження окатишів.

Виробництво окатишів у шахтних печах характеризується низькими експлуатаційними витратами. Виключається необхідність складних у виготовленні та обслуговуванні високотемпературних димососів.



Конвеєрна машина з пристроєм аналогічна агломераційним машинам стрічкового типу, але пристосована для роботи при більш високих температурах. зверху спеціальними секціями горна. в кожній секції встановлюють, як правило, незалежно від режиму інших секцій. Гази з кожної зони відсмоктуються окремими димососами. та охолодження.

Схема газопотоків, прийнята в даний час для більшості конвеєрних випалювальних машин, передбачає реверс теплоносія в зоні сушіння, пристрій двох зон охолодження та прямий перетік з першої зони охолодження до зони підігріву, випалу та рекуперації. Так, конструкція випалювальних машин фірм «Лургі» має наступний розподіл площі по зонах: сушіння 20%, підігріву та випалу 35%, рекуперації 7%, охолодження 38%. Такі машини встановлені на ПівнГЗК у Кривому Розі. Площа вітчизняних обпалювальних машин складає 108, 306 та 520 м².

Удосконалення системи газопотоків конвеєрних випалювальних машин йде шляхом поєднання продуву та прососу теплоносія через шар окатишів з максимальним використанням теплоти газів, що відходять із зон випалу, рекуперації та охолодження.

Найбільш дорогою і важкою частиною конвеєрної машини є обпалювальні візки (палети), що становлять 60 - 70 % її маси і виготовляються з легованих жароміцних сталей. Колосники випалювальних візків виконують з чавуну, вуглецевих сталей (~2,3% C), високолегованих хромонікелевих сталей (25-30% Cr і 3-15% Ni).

Сучасні випалювальні конвеєрні машини мають високу агрегатну продуктивність (3 млн. т/рік і вище), дозволяють регулювати режим випалу, пристосовані до виробництва різних видів окатишів з будь-яких концентратів, відрізняються простотою конструкції.

До недоліків конвеєрних машин слід віднести необхідність застосування для виготовлення візків жароміцних сталей та високотемпературних димососів, що ускладнює обслуговування машин та підвищує експлуатаційні витрати на отримання окатишів. Конвеєрні машини також характеризуються підвищеною витратою теплоти на процес (850 - 1250 МДж/т і вище).

Для випалу окатишів використовують також комбінований агрегат (рис. 2.5) який включає: полегшену конвеєрну машину для сушіння і підігріву окатишів і трубчасту піч, що обертається для високотемпературного випалу.

Низькотемпературні процеси сушіння та підігріву протікають на конвеєрній машині, високотемпературні – у футерованій вогнетривами печі. Гази, що відходять з трубчастої печі, просмоктуються крізь шар окатишів на колосникових ґратах спочатку в зоні підігріву, а потім в зоні сушіння, тому витрата теплоти на процес порівняно невелика і становить 650 - 920 МДж/т окатишів. Число високотемпературних димососів скорочується до 1 – 2 у порівнянні з 3 – 4 на конвеєрній машині. На установці можна підтримувати високі температури випалу.

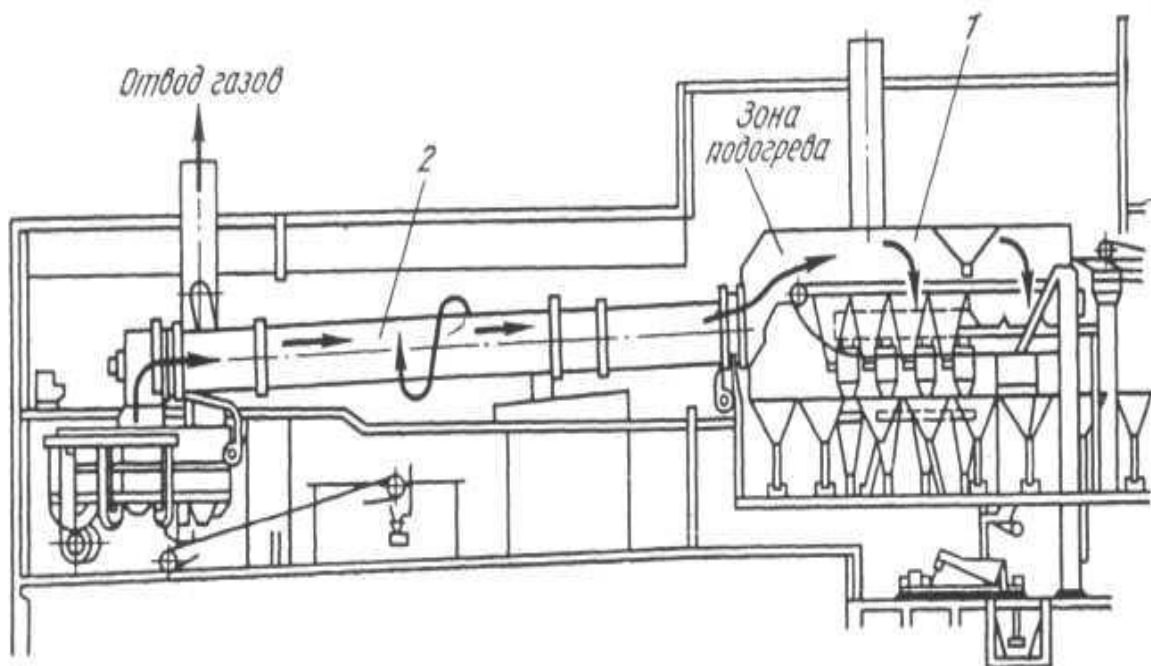


Рисунок 2.5 - Комбінований агрегат колосникові грати - трубчаста піч: 1 - конвеєрна машина; 2 - трубчаста піч

Недоліками цього агрегату є настилеутворення в трубчастій печі через місцеві явища оплавлення, застосування низького шару окатишів на конвеєрній машині, збільшення тривалості випалу, підвищені вимоги до міцності підігрітих окатишів. У нашій країні за такою схемою працює фабрика окускування Полтавського ГЗК.

З дослідних даних можна дійти невтішного висновку, що показники виробництва окатишів у трьох типах застосовуваних випалювальних агрегатів близькі. Сумарні експлуатаційні витрати відрізняються величиною $\sim 7\%$.

Устаткування для виконання лабораторної роботи

Для проведення роботи використовуються таке дослідницьке обладнання:

1. Тарілчастий гранулятор
 - діаметр тарелі 1000 мм;
 - висота борту 150 мм;
 - швидкість обертання 8 – 20 об/хв;
 - кут нахилу 40 - 50 °.
2. Кульовий млин для помолу флюсу та бентоніту.
3. Ваги для зважування компонентів шихти та окатишів.
4. Змішувальний барабан.
5. Розривна машина.

Порядок виконання роботи

1. Зважити та змішати компоненти шихти (98% концентрат + 2% бентоніт, флюс за потреби).
2. Завантажити шихту в барабан і змішати протягом 2 хв.
3. Завантажити шихту на тарілчастий гранулятор і додавати воду через бризки. Отримати сирі окатиші.
4. Розсіяти котуни за необхідними фракціями (0-8, 8-10, 10-12, 12-15, 15-20, +20 мм) на ситах.
5. Визначити міцність сирих окатишів на роздавлювання та на скидання (з висоти 500 мм на сталеву плиту).
6. Отримані дані оформити у вигляді таблиць таблиці.

Методика дослідження міцності та обробка результатів

Маса проби для визначення міцності на стиск має бути не менше 1 кг. З цієї проби виділяють клас крупності, що підлягає випробуванню, з якого відбирають ручним або механічним способом не менше 30 окатишів для визначення міцності на стиск.

Різниця верхньої та нижньої меж крупності виділеного класу повинна бути не більше 4 мм.

Зруйновані або надколоті окатиші замінюють цілими.

Машина для випробування повинна відповідати таким вимогам:

робочі частини пластин проботримача, між якими завадять окатиші при випробуванні, повинні бути плоскими, виготовлятися із загартованої сталі та встановлюватися у взаємно паралельних площинах швидкість руху опори, що стискає, повинна бути не менше 5 і не більше 75 мм/хв максимальне стискаюче навантаження на окатиші має бути 49(N) Н (500 кг) або більше ціна поділів шкали вимірювань повинна бути не більше 1/100 максимального навантаження, що створюється машиною для випробування похибка відліку повинна бути не більше 2% максимального значення навантаження, що створюється машиною при випробуванні.

Окатиші розташовують по одному на нижню пластину проботримача машини і створюють навантаження, що постійно зростає, до їх руйнування. Повне руйнування забезпечується застосуванням безперервного навантаження до тих пір, поки зазор між пластинами не складе 50% середнього розміру випробуваної проби.

Фіксують величину навантаження в момент початку руйнування(розтріскування) кожного окатиша.

Міцність на стискання розраховують за формулою:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n}$$

де X_i - показник міцності одного окатишу, Н (кг);
n - кількість випробуваних окатишів.

За результатами випробування будується графік залежності міцності окатишів від діаметру.

Результати

Оформлення результатів, як приклад можливе у вигляді таблиць наведених нижче (див. табл. 2.1 та 2.2).

За отриманими результатами необхідно розрахувати середні значення показників міцності та занести до відповідних таблиць. За цими даними побудувати графіки залежності міцності окатишів від їх крупності.

Таблиця 2.1 - Якісні показники сирих окатишів

Характеристика	Фракція, мм				
	0-8	8-10	10-12	12-15	15-20
Маса фракції, кг	1,2	1,1	0,9	1,3	0,9
Міцність на роздавлювання, кг/ок	-	(0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,8)	(0,7; 1; 1; 1; 1,2)	(2,1; 1,8; 1,6; 1,6; 2,0)	(2,5; 2,6; 1,9; 2,5; 2,4)
Міцність на скидання (500 мм), разів	-	(3; 3; 3; 3; 3)	(3; 2; 3; 2; 2)	(2; 2; 3; 2; 2)	(2; 2; 2; 2; 2)

Таблиця 2.2 - Якісні показники обпалених (промислових) окатишів

Характеристика	Фракція (розмір) окатишів, мм		
	10-12 (12 мм)	12-15 (15 мм)	15-20 (20 мм)
Міцність на роздавлювання, кг/ок	225	244	425
	275	216	422
	270	230	274
Середнє значення			

Після отримання та оформлення усіх експериментальних, розрахункових та графічних даних необхідно зробити технологічні висновки та практичні рекомендації.

Індивідуальне завдання № 1

Розрахунки показників етапів підготовки сировини

Варіанти задач для виконання індивідуального завдання студент обирає з переліку таблиць у відповідності до його номеру за списком студентської групи.

Індивідуальне завдання має бути надруковане шрифтом Times New Romans 14 розміру з інтервалом 1,5, нумерація формул, наведених у роботі, має бути наскрізною.

Виконане індивідуальне завдання захищається у вигляді пояснення (виступу) на практичному занятті - для отримання максимально можливої кількості балів.

Завдання 1.1.

Визначити вміст вуглецю нелеткого в коксі враховуючи наступний технічний склад коксу:

№ за списком групи	Кокс	Вміст елементу, %				
		Волога (W)	Зола (A)	Сірка (S)	Леткі (V)	Вуглець нелеткий (C _{нел.})
1	Кокс 1	2,2	9,50	1,20	0,60	
2	Кокс 2	9,0	14,60	2,30	1,90	
3	Кокс 3	3,7	13,52	0,55	1,17	
4	Кокс 4	3,7	13,35	0,57	1,05	
5	Кокс 5	2,0	15,60	1,09	1,27	
6	Кокс 6	5,0	13,50	0,97	1,50	
7	Кокс 7	1,0	12,45	1,54	1,37	

Визначити вміст заліза в рудному мінералі:

№ за списком групи	Назва рудного мінералу	Хімічна формула
8	Гематит	Fe ₂ O ₃
9	Магнетит	Fe ₃ O ₄
10	Гетит	Fe ₂ O ₃ • H ₂ O
11	Сидерит	FeCO ₃
12	Лимоніт	2Fe ₂ O ₃ • 3H ₂ O
13	Лимніт	Fe ₂ O ₃ • 3H ₂ O
14	Гідрогетит	3Fe ₂ O ₃ • 4H ₂ O
15	Тур'їт	2Fe ₂ O ₃ • H ₂ O
16	Ксантосидерит	Fe ₂ O ₃ • 2H ₂ O
17	Ільменіт	FeO • TiO ₂

Визначити вміст марганцю в рудному мінералі:

№ за списком групи	Назва рудного мінералу	Хімічна формула
18	Піролюзит	MnO ₂
19	Брауніт	Mn ₂ O ₃
20	Гаусманіт	Mn ₃ O ₄
21	Родохрозит	MnCO ₃
22	Манганіт	Mn ₂ O ₃ • H ₂ O
23	Родоніт	MnSiO ₃

Завдання 1.2.

Визначити здібність до флюсування вапняку, що складається з кальциту CaCO₃, магнезиту MgCO₃ й кремнезему, при заданій основності шлаку. Вміст CaO, MgO (%) у вапняку й основність шлаку наведені нижче:

№ за списком групи	1	2	3	4	5
CaO	40,0	44,0	45,4	47,0	52,0
MgO	12,0	9,5	8,35	6,7	3,3
Основність	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27

До доменного цеху надходить агломерат із вмістом дрібної фракції α, %. Після відсіву перед доменними печами в агломераті міститься ν, %, дрібняку. Визначити коефіцієнт корисної дії грохотів. Скільки агломерату завантажувється до доменної печі з кожної 1 т сировини, що надходить до цеху? Значення α й ν наведені нижче:

№	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
α, %	21	20,5	20,0	19,5	19,0	18,5	18,0	17,5	17,0	16,5
ν, %	6,0	5,8	5,9	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,0

Вміст заліза в пробах концентрату (%) до й після усереднення в штабелі наведений нижче. Визначити коефіцієнт усереднення концентрату в штабелі:

№ за списком групи	Показники	Проба				
		1	2	3	4	5
16	до усереднення	64,25	61,51	65,17	62,94	63,1
	після усереднення	63,24	64,01	63,36	63,11	62,9
17	до усереднення	64,25	61,51	65,17	62,94	63,1
	після усереднення	63,24	64,01	63,36	61,81	62,9
18	до усереднення	64,75	61,51	65,17	62,94	63,1
	після усереднення	63,24	64,01	63,36	61,11	62,9
19	до усереднення	64,25	62,51	65,17	67,94	63,1
	після усереднення	63,24	64,01	61,36	63,11	62,9
20	до усереднення	64,25	61,51	66,17	62,94	63,1
	після усереднення	63,24	64,01	62,76	63,11	62,9
21	до усереднення	64,25	61,51	65,17	63,94	63,1
	після усереднення	63,24	64,01	62,46	63,11	62,9

22	до усереднення	64,25	61,51	65,17	62,94	64,1
	після усереднення	63,24	62,31	63,36	63,11	62,9
23	до усереднення	64,25	61,51	65,17	62,54	63,1
	після усереднення	63,24	62,01	63,36	63,11	62,9
24	до усереднення	64,25	61,51	65,87	62,94	63,1
	після усереднення	63,94	64,01	63,36	63,11	62,9
25	до усереднення	64,25	63,51	65,17	62,94	58,1
	після усереднення	61,54	64,01	63,36	63,11	61

Завдання 1.3.

Як зміниться вміст заліза в гематитовій руді після магнетизуючого випалу? Вміст пустої породи в руді до випалу складає:

№ за списком групи	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вміст пустої породи, %	6	8	10	12	14	16	18	20	4

Вміст заліза в руді концентраті і хвостах складає відповідно α , %; β , %; ν , %. Значення α ; β ; ν наведені нижче:

№ за списком групи	10	11	12	13	14	15	16
α , %	18	19	20	21	22	23	24
β , %	65	64	63	62	61	50	52
ν , %	6	6,5	14	15	13	12	11

Визначити показники збагачення залізної руди: вихід концентрату й хвостів, ступінь витягу заліза, коефіцієнти збагачення та скорочення.

За початковими даними варіанту з таблиці нижче (гранулометричного складу коксу) розрахувати сумарний F і відносний f вміст кожної фракції. Побудувати таблицю з повним табличним описом гранулометричного складу шихтового матеріалу:

№ вар.	Вміст, %				
	0-25 мм	25-40 мм	40-60 мм	60-80 мм	80-100 мм
17	2	18	38	37	5
18	7	23,2	48,2	17,8	3,8
19	2,9	11,8	41,5	31,1	12,7
20	3,1	11,4	45	31,3	9,2
21	2,9	20,8	41,5	27,2	7,6
22	3,1	15,5	46,9	26,3	8,2
23	3,1	20,4	47,9	22,5	6,1

Завдання 1.4.

Потік шихти для виготовлення окатишів складається з витрат концентрату, флюсу й бентоніту (див. таблицю):

Варіант	1	2	3	4	5	6	7
Витрата концентрату, т/год	810	800	820	830	825	815	805
Витрата флюсу, т/год	90	80	95	98	85	88	82
Витрата бентоніту, т/год	10	15	10	2	7	11	11

Визначити необхідну витрату води для одержання сирих окатишів вологістю 10%, якщо початкова вологість концентрату складає 10,7 %, флюсу - 2 %, бентоніту - 1 %.

Вміст заліза в чавуні становить 93 %. Визначити вміст фосфору в чавуні, виплавленому з офлюсованого агломерату, який виготовлений з концентрату Криворізького родовища. Вміст заліза й фосфору в агломераті наведений у таблиці:


Варіант	8	9	10	11	12	13
Fe, %	43	41	45	41	42	44
P, %	0,6	0,5	0,9	0,6	0,8	0,7

Кількість фосфору, що вноситься в чавун коксом, не враховується через надто малу величину.

Визначити питому годинну продуктивність і добове виробництво агломерату при заданих характеристиках аглопроцесу (див. табл.). Визначити швидкість аглострічки, якщо висота шару шихти 360 мм, а ширина палет 2,5 м:

Варіант	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Вертикальна швидкість,	20	21	22	23	24	25	26	25	24
Насипна маса шихти, т/м ³	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85
Вихід годного агломерату,	70	71	72	73	74	75	76	77	78
Площа агломашини, м ²	50	50	50	50	50	75	75	75	75

Номер варіантів задач для виконання індивідуального завдання студент обирає з переліку (див. вище) у відповідності до його номеру за списком студентської групи. У окремих випадках студент узгоджує обрану самостійно тему з лектором (викладачем).




Індивідуальне завдання № 2

Характеристика особливостей підготовки залізорудної металургійної сировини

Перелік тем для виконання індивідуального завдання:

1. Характеристика особливостей підготовки твердого палива (коксу) для аглодоменного виробництва.
2. Характеристика мінералів залізних та марганцевих руд, корисних та шкідливих домішок, складу порожньої породи.
3. Характеристика родовищ залізних та марганцевих руд.
4. Характеристика заміників твердого палива, руд і флюсів.
5. Загальна характеристика етапів підготовки металургійної сировини.
6. Дроблення та подрібнення руд, характеристика, обладнання.
7. Грохочення і класифікація руд, характеристика, обладнання.
8. Обпал руд як етап підготовки сировини, характеристика, обладнання.
9. Збагачення залізних руд, характеристика, обладнання.
10. Методи збагачення залізних руд, характеристика, особливості різних методів.
11. Магнітне збагачення (сепарація) залізних руд, характеристика, обладнання.
12. Усереднення матеріалів як етап підготовки сировини, характеристика, обладнання.
13. Загальна характеристика процесу залізорудної агломерації.
14. Загальна характеристика процесу виробництва залізорудних окатишів.
15. Загальна характеристика процесів брикетування залізорудної сировини.
16. Характеристика процесів огрудкування залізорудних матеріалів.
17. Характеристика газодинаміки агломераційного процесу.
18. Характеристика теплових процесів при агломерації.
19. Характеристика окислювально-відновлювальних процесів при агломерації.
20. Теоретичні основи отримання офлюсованого агломерату.
21. Теоретичні основи отримання залізорудних окатишів.
22. Характеристика безобпалювальних способів брикетування (окускування).
23. Характеристика агрегатів та обладнання систем очистки газів фабрик окускування.
24. Характеристика агрегатів та обладнання відділень для прийому, складування, усереднення та підготовки сировинних матеріалів.
25. Характеристика агрегатів та обладнання для дозування, змішування та огрудкування матеріалів фабрик окускування.

- 
26. Нові технології та шляхи інтенсифікації при підготовці металургійної сировини.
 27. Устрій та особливості роботи конвеєрної агломераційної машини.
 28. Устрій та особливості роботи конвеєрної обпалювальної машини.
 29. Характеристика показників якості окускованої залізородної сировини.
 30. Стисла характеристика підприємств гірничо-металургійного комплексу України.

Номер варіанту теми для виконання індивідуального завдання студент обирає з переліку тем (див. вище) у відповідності до його номеру за списком студентської групи. У окремих випадках студент узгоджує обрану самостійно тему з лектором (викладачем).

Обсяг індивідуальної роботи має складати не менше 15 сторінок комп'ютерного тексту формату А4. Індивідуальне завдання має бути надруковане шрифтом Times New Romans 14 розміру з інтервалом 1,5, нумерація формул, таблиць, рисунків наведених у роботі, має бути наскрізною.

Виконане індивідуальне завдання має бути у вигляді реферативного аналізу та розкривати сутність заданої теми. Завдання повинно містити: титульну сторінку з обов'язковою вказівкою назви дисципліни, ПІБ студента, шифру студентської групи; зміст; саме завдання та перелік використаних літературних джерел, нумерація яких є наскрізною.

Виконане індивідуальне завдання захищається у вигляді пояснення (виступу) на практичному занятті - для отримання максимально можливої кількості балів.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Бережной М. М., Мовчан В. П., Плевако В. С. Збагачення та окускування сировини. Харків, 2000. 365 с.
- 2 Іващенко В. П., Величко О. Г., Терещенко В. С., Чеченєв В. А. Безкоксова металургія заліза : підручник. Дніпропетровськ : "Дніпро-ВАЛ", 2003. 338 с.
- 3 Шатоха В. І. Сталій розвиток чорної металургії : монографія. Дніпропетровськ : "Дріант", 2015. 184 с.
- 4 Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник / Д.Ф.Чернега та ін. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
- 5 Pietsch W. B. Agglomeration Processes. 1st Edition. Wiley, 2008. 624 p. URL: <https://read.kortext.com/inventory/search/923932>.
- 6 Bizhanov A., Chizhikova V. Agglomeration in Metallurgy. Cham : Springer, 2020. 399 p. URL: <https://read.kortext.com/reader/epub/812125>.



Навчально-методичне видання

**Ягольник Максим Вікторович
Бойко Максим Миколайович**

ПІДГОТОВКА МЕТАЛУРГІЙНОЇ СИРОВИНИ

**методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
та індивідуальних завдань**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції