

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО  
ВИРОБНИЦТВА

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до випускної роботи  
зі спеціальності 136 – Металургія**

**Розробка ресурсозберігаючих технологій для підвищення  
ефективності виробництва залізорудних окатишів основністю 0,8 в умовах  
фабрики огрудкування продуктивністю 7 млн.тон на рік**

Виконав: Студент групи МТ 21ск \_\_\_\_\_Вадим ГРОСУЛ

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_Володимир ПЛОТНИКОВ

Нормоконтролер \_\_\_\_\_Володимир ПЛОТНИКОВ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг

2024 р.

## Реферат

\_\_\_\_\_ стор., \_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_ табл., \_\_\_\_\_ джерел.

Ключові слова: ОБКОТИШІ, ПОДРІБНЕННЯ, КОНЦЕНТРАТ, ВИПАЛЮВАННЯ, ОГРУДКУВАННЯ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.

Вивчено отримання високоякісних офлюсованих обкотишів з магнетитового концентрату.

Об'єктом розробки є технологія отримання високоякісних офлюсованих обкотишів основністю 0,8 з магнетитового залізородного концентрату.

Одержані обкотиші з вмістом заліза 61,2%. Міцність при стисканні – 220 кг/обкот. Відновленість – 79,7%. Міцність при відновно-тепловій обробці, в %: фракції більше 5 мм – 52,3-75,1; фракції менше 0,5 мм – 8,3-14,5.

Визначені техніко-економічні показники роботи ЦГЗК з річною продуктивністю 7,0 млн. т по виробництву обкотишів. Техніко-економічна оцінка проекту показала доцільність його впровадження.

## ЗМІСТ

Вступ .....	
1. Загальна частина .....	
2. Технологічна частина.....	
2.1. Вихідні данні для розрахунку.....	
2.2 Розрахунок хімічного складу твердого палива.....	
2.3 Розрахунок середньо зважених складів сумішей .....	
2.4 Розв'язок рівнянь матеріального балансу та основності.....	
2.5. Розрахунок хімічного складу обкотишів.....	
2.6. Вибір та обчислення необхідності головного технологічного обладнання цеху по виробництву обкотишів.....	
3. Спеціальна частина.....	
3.1. Промислові випробування технології виробництва обкотишів при заміні коксика відходами збагачення вугілля (аргіліт).....	
3.2. Впровадження вдосконаленої ресурсозберігаючої технології виробництва обкотишів із твердим паливом.....	
3.3. Промислові випробування й впровадження технології виробництва обкотишів з додавкою різних видів твердого палива в шихту на Центральному ГЗК.....	
3.4. Вплив добавок антрациту в шихті на запиленість газопотоків при спіканні обкотишів.....	
3.5. Фізико-хімічна модель спікання залізородних обкотишів із шихт із додавкою твердого палива.....	
4. Охорона праці.....	
4.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика проектного об'єкту.....	
4.2. Основні шкідливі і небезпечні наслідки проектного виробництва.....	
4.3. Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек проектного виробництва.....	
4.4. Засоби індивідуального захисту.....	
4.5. Пожежна профілактика.....	
5. Охорона оточуючого середовища .....	
Висновки .....	
Список використаної літератури .....	

## ВВЕДЕННЯ

Розв'язок завдання підвищення ефективності доменного виробництва за рахунок зниження витрати коксу й підвищення продуктивності засноване на розробці нових видів металургійної сировини й поліпшення його металургійних властивостей. Воно повинне характеризуватися не тільки традиційними показниками міцності й гранулометричним складом, але й високотемпературними характеристиками. Основними залізородними матеріалами для доменної плавки є агломерат і окатиші. Установлена висока ефективність використання металізованих матеріалів.

Порівнюючи комплексні характеристики металургійних властивостей агломерату й окатишів, можна зробити висновок, що міцність окатишів знижується при низькотемпературному відновленні. Крім того температури утворення розплаву і його фільтрації через коксову насадку при роботі на окатишах на 30-80°C нижче в порівнянні з агломератом, що розширює зону розплаву й підвищує опір руху газу.

Аналіз якості огрудкованих залізородних матеріалів – зокрема окатишів, вироблених на Україні за останні 10 років, показує, що відсутність сучасних схем термічної обробки матеріалів не дозволяє одержати зміст дріб'язку в товарному агломераті нижче 15 %. Закордонні аналоги, після чотирьохстадійної обробки, мають не більш 5 % (Японія, Німеччина). Зберігається істотна різниця між агломератом і окатишами при їхній відновно-тепловій обробці в доменній печі. Запропонований і розроблений ряд технологій по виробництві й проплавці в доменних печах офлюсованих окатишів з підвищеним до 7-9 % вмістом моно оксиду заліза, а також зі вмістом залишкового вуглецю від 0,6 до 1,9 %, що суттєво зближає високотемпературні властивості окатишів з агломератом. Розв'язок поставленого завдання здійснене шляхом удосконалювання технології випалу окатишів комбінованим паливом.

Відповідно до цього визначені завдання дослідження:

- дослідження впливу отжига (повторного нагрівання, яке відбувається в постелі, виділеної з охолоджених окатишів і завантаженої на колосникові ґрати) на якісні характеристики окатишів;
- дослідження окисно-відновних процесів в офлюсованих залізородних окатишах, отриманих із шихт із добавками твердого палива;

- дослідження металургійних властивостей залізорудних окатишів при підвищенні основності й вмісту твердого палива зі зміною вмісту летучих речовин;

- розробка вдосконалених технологічних і технічних розв'язків для виробництва залізорудних окатишів, отриманих із шихт із добавками твердого палива.

Проведені дослідження дозволили створити ефективну технологію окисного випалу залізорудних офлюсованих окатишів. Розроблена вдосконалена технологія виробництва окатишів шляхом добавки в шихту колошникового пилу доменних печей. Новий розв'язок полягає в тому, що колошниковий пил вводиться в шихту огрудкування після спільного подрібнення з вапняком. На цьому етапі відбувається активація компонентів шихти, що сприяє інтенсифікації процесів спікання й випалу.

Застосування розробленого способу на випалювальній машині Центрального ГЗК показало можливість використання колошникового пилу при виробництві залізорудних окатишів. За рахунок розвитку відновних процесів вміст монооксиду заліза підвищився з 3,7 до 10,0 % у неофлюсованих окатишах і з 1,5 до 4,7 % - в офлюсованих. Показники міцності на удар після випробувань у стандартному барабані для неофлюсованих окатишів не відрізнялися від базових і становили 89,1 %, для офлюсованих окатишів – збільшилися з 87,8 до 88,8 %. Показники індексу на стирання знизилися для неофлюсованих окатишів з 9,6 до 8,9 %, для офлюсованих окатишів – з 10,5 до 9,6 %. Поліпшення показників міцності відбулося за рахунок розвитку рідкофазного спікання в присутності оливинового розплаву. Міцність сирих окатишів на скидання перебувала в інтервалі 3,4-3,8 раз, опір стиску 0,6-0,8 кг/окатиш. Продуктивність випалювальної машини збільшилася при виробництві неофлюсованих окатишів на 25,57 т/ч, і офлюсованих – на 20,53 т/ч. За рахунок створення внутрішнього джерела теплоти й інтенсифікації процесу теплообміну знизилися питомі витрати природного газу при виробництві неофлюсованих окатишів з 13,60 до 10,61 м<sup>3</sup>/т, офлюсованих окатишів – з 13,84 до 10,21 м<sup>3</sup>/т.

# 1 Загальна частина

## Аналіз технологічної схеми фабрики огрудкування ЦГЗКа.

Фабрика огрудкування ЦГЗКа введена в лад в 1968 році. Технічні й проектні рішення при будівництві фабрики базувалися на застосуванні технологічного встаткування, яке для того часу (1962-1968рр) відповідало науково-технічному прогресу й накопиченим рівням знань і досвіду роботи фабрик огрудкування чорної металургії.

До теперішнього часу технічний рівень фабрики відстав від сучасних вимог, особливо по основному технологічному встаткуванню. Це стосується насамперед випалювальних машин ОК-5-108, чашових огрудкувачів 5,0м, кульових млинів, дозуючого й ваговимірювального встаткування й т.п.

У результаті рівень технології не відповідає сучасним вимогам одержання високоякісних обкотишів, зокрема, по основності й міцності, що викликає обґрунтовані претензії доменщиків.

Основні недоліки технології, виявлені в процесі експлуатації фабрики, полягають у наступному:

1. Незадовільне дозування бентоніту у видатковий бункер млина, недостатчі помольних засобів вапняку для офлюсування шихти (до основності 0,7), при підвищеному масовому вмісті в концентраті, здрібнювання бентоніту виробляється разом з вапняком. При цьому природні труднощі в забезпеченні необхідної точності дозування й гнучкості регулювання комкуючої здатності шихти.

Для запобігання можливих її відхилень витрата бентоніту задається з деяким запасом, тобто більшим оптимального (9-12кг/сухої маси на 1т обкотишів.)

2. Незадовільне дозування шихти. Експлуатоване на фабриці вагодозувальне встаткування (шнекові живильники в комплекті з вагодозаторами ЛДА) не забезпечують необхідну точність дозування ( $\pm 0,5\%$ ). Фактично точність становить  $\pm 5,0\%$ , що не дозволяє одержати однорідну шихту й із цієї причини сирі обкотиші мають нерівномірний гранулометричний склад.

3. Неприятливе співвідношення висоти торта й діаметра чашових огрудкувачів складає 0,15. Внаслідок цього огрудкування вологої шихти протікає з порушеннями плавного сполучення циклів «підйом - окатування» й утворенням

великої кількості пухких грудок й обкотишів великого розміру, а також дріб'язку. Останні дві обставини обумовлюють нерівномірний гранулометричний склад сирих обкотишів, що характеризується низьким виходом придатної фракції (20-10мм - 80-85%) і великою масовою часткою великих обкотишів і грудок (+20мм до 5,-7,0%)

3. Моральне й фізичне зношування конвеєрних випалювальних машин ОК-5-108. Дані випалювальні агрегати виконані з укороченою зоною охолодження (20,0% проти 41% у сучасних машинах) і із зоною сушіння I прососом (у сучасних машин - дуттям знизу). Це приводить до зниження продуктивності й росту витрати тепла. Крім того, на машинах ОК-5-108 на передбачена постіль, що супроводжується зниженням якості обпалених обкотишів. У цілому, питома витрата природного газу на діючій фабриці становить 50-52 обкотишів, що в 2,0-2,5 рази вище чим на сучасних фабриках.

4. Фізичне старіння устаткування. Недоліки технології привели до прискореного зношування технологічного встаткування, зростанню ремонтних робіт і змісти з тим кількості відмов у роботі й простоїв технологічних ліній. Це привело до зниження використання встаткування до 70% (проти 93,0% проектних).

За час експлуатації фабрики огрудкування були виконані дослідження з удосконалювання технологічного процесу. Основними напрямками досліджень були - підвищення якості залізородних обкотишів й удосконалювання технології їхнього виробництва. Для підвищення техніко - економічних показників доменного переділу потрібно робити високоофлюсовану залізородну сировину з високими металургійними властивостями: низькою руйнацією при транспортуванні й відновленні, підвищеною температурою й вузьким інтервалом розм'якшення й плавлення. Установлено, що підвищення основності обкотишів з 0,7 до 1,2 супроводжується деяким зниженням продуктивності. Для часткової компенсації цього в шихту для виробництва обкотишів доцільно вводити до 1,0-1,5% твердого палива - антрацитового штибу. Таким вимогам відповідають обкотиші основністю 1,2, офлюсованні доломітизований вапняком, який містить 8-11,0% Mg.

Присутність певної кількості Mg підвищує тугоплавкість шихти, розширює температурний інтервал випалу на 30-50<sup>0</sup>C. Це дозволяє підвищити температуру

випалу до 1700±20<sup>0</sup>C та, відповідно, збільшити питому продуктивність процесу випалу, прискорити процеси повного твердофазного й напіврідкого спікання зерен шихти. Тим самим створюються умови для одержання залізородних обкотишів з високими металургійними властивостями. Слід зазначити, що позитивний вплив магnezії триває й у процесі доменної плавки.

У роботах Гметау, виконаних при участі фахівців КТУ й Механобрчермета, отримані дані про позитивний вплив заміни бентоніту

карбонатним вапном, що дозволяє трохи підвищити масовий вміст заліза в обкотишах при одночасному збільшенні основності.

У процесі досліджень аналізу досвіду роботи фабрик огрудкування уточнювалися оптимальні параметри вихідної сировини, роботи подрібнювального, огрудкувального й випалювального встаткування, розроблялися пропозиції по підвищенню якості продукції. Деякі із цих пропозицій і враховані в розробках в цьому проекті фабрики огрудкування ЦГЗКа.

#### Обґрунтування й опис технологічної схеми на проєктованій фабриці.

Проєктована фабрика буде працювати на магнетитовому концентраті ЦГЗКа, доломітизованому вапняку Докучаєвського флюсо-доломітового комбінату, бентонітовій глині Даш-Салахлінського родовища, антрацитового штибу (марка А, сорт Аш) Донецького басейну, карбонатного вапна власного виробництва.

Технологічний процес виробництва окатишів представлений на рисунку.

Послідовність операцій аналогічна існуючій схемі й містить у собі наступні операції:

- Прийом і складування сирих матеріалів (концентрат, доломітизований вапняк, бентонітова глина, карбонатне вапно, антрацитовий штиб)
- Сушіння бентоніту;
- Дроблення вапняку, бентоніту, вапна;
- Здрібнювання вапняку, бентоніту, вапна, штибу, відсівання;
- Дозування компонентів і змішування шихти;
- Огрудкування вологої шихти;
- Виділення й подача постелі на випалювальні машини;
- Температурно-теплова обробка сирих обкотишів;
- Просівання обпаленого продукту;
- Відвантаження й складування обпалених обкотишів;
- Уловлювання, зневоднювання й відвантаження шламів газоочистки й просипів;
- Очищення технологічних газів від пилу, хлоридів і сарною ангідриду (мокра газоочистка).

Подібна схема відповідає прогресивній технології виробництва залізорудних обкотишів на сучасних фабриках огрудкування України й за кордоном.

Основне технологічне встаткування, рекомендоване до установки на проєктованій фабриці:

- Дробарка молоткова однороторна;
- Сушильний барабан СБ-3,5х18,0;
- Млин кульовий ШБМ-370х850;
- Змішувач барабанний 3,2х7,5;



- Огрудкувач чашовий  $d=7,5\text{м}$ ;
- Змішувач роторний СР-400х1400;
- Випалювальна машина ОК-324;
- Гуркіт самобалансний 2000х5000;
- Барабан охолодження звороту 1,8х4,8;
- Гуркіт вібраційний ГВ-06;
- Живильник роликів Пр-1-2000;

#### Виробництво окатишів

Розвиток збагачення та експлуатації родовищ бідних руд привів до швидкого зростання виробництва тонкоподрібнених концентратів і збільшення їхньої частини в агломераційній шихті. Однак виявилось, що це призводить до суттєвого зниження продуктивності агломераційних машин на 20-40%.

У той же час транспортування концентрату на великі відстані створило значні труднощі (змерзання, злипання, труднощі при перевантаженнях). Перевіз же агломерату на великі відстані, як показала практика, нераціональний через значне його руйнування. Ці обставини привели до появи нового способу огрудкування тонкомелених концентратів – виробництва окатишів або огрудкування.

З шихтовки бункерів на конвеєрі дозуються концентрат і тонкомелений до крупності 0-0,3 мм вапняк. Потім шихту змішують в барабані і подають на гранулятор. Він представляє собою круглий диск ( таріль, тарілка ) з бортами, розміщений похило. При обертанні диска на його поверхні відбувається накатування окатишів. Перед гранулятором для кращого огрудкування до шихти додають 0,3-1,5% бентонітової глини ( частіше 0,5-1% від маси шихти ), а на гранулятор крізь розпилюючи форсунку подається вода. Утворені на грануляторі окатиші подаються на пристрій для випалювання. На схемі таким пристроєм показано найбільш поширену конвеєрну машину, аналогічну агломераційній.

Машина розділена на три зони: I – сушіння, II – випалювання і III – охолодження. У зону сушіння подаються нагріті газу, які відходять із зони випалювання та охолодження, які нагрівають окатиші до 200-400°C.

Просмоктуванні зверху вниз газу високонапірним вентилятором викидаються в димову трубу. Зона випалювання перекрита горном з газовими або мазутними пальниками. Продукти горіння просмоктуються вниз і нагрівають окатиші до 1300-1350°C. Відсмоктані вентилятором газу направляються в зону сушіння. У кінці машини розміщена зона охолодження окатишів, тому що транспортувати їх нагрітими не можна. Охолодження проводиться продуванням повітря знизу вгору.

Нагріте повітря подається також і в зону сушіння. Охолоджені окатиші сортуються грохотом, фракція >10 мм направляється споживачам, а фракція

<10 мм є поворотом. Утворений поворотний продукт може або спікатися на аглофабриках, або після тонкого розмелювання використовуватися для виробництва окатишів.

Головними етапами процесу є : підготовка шихтових матеріалів, дозування і змішування шихти; виробництво сирих окатишів; сушіння, випалювання та охолодження окатишів.

Підготовка шихтових матеріалів і шихти при виробництві окатишів нічим не відрізняється від такого процесу на аглофабриці. Особливістю є необхідність такого розмелювання всіх шихтових матеріалів. Крупні фракції в шихті порушують процес обкатування на грануляторі і різко знижують міцність окатишів. Другою особливістю є необхідність подавати концентрат на гранулятор точно визначеної вологості – 9-10%. Як більш вологий, так і більш сухий концентрат не обкочується. Зневоднення концентрату до заданої величини необхідно виконувати на збагачувальній фабриці.

Виробництво сирих окатишів є початковим етапом процесу. Принципово процес обкатування у даному випадку нічим не відрізняється від огрудкування агломераційної шихти. Головними факторами, що визначають процес, є ступінь тонкого помолу концентрату, вміст вологи, властивості та кількість доданих в'язучих речовин і властивості зволожуючої рідини. Практика показує, що задовільно обкатування проходить лише при вмісті в концентраті 85-90% фракції <0,07 мм. Тонке подрібнення вапняку і поворотного продукту необхідно вести до 0,3 мм.

Механізм процесу огрудкування при виробництві окатишів мало відрізняється від механізму огрудкування агломераційної шихти. Формування грудки здійснюється послідовним накопчуванням дрібних часточок шихти на зародок. Але зародком є не кусочок поворотного продукту або руди, а грудочка, що утворюється з дрібних часточок огрудкованого матеріалу. Розмір окатиша значно більший, ніж розмір грудки агломераційної шихти, що збільшує час огрудкування.

Для отримання достатньо міцних і термостійких сирих окатишів в шихту звичайно вводять бентонітову глину ( бентоніт ).

Бентоніт – своєрідний сорт глини, що відрізняється великою дисперсністю, іонообмінною здатністю високим ступенем набухання при зволоженні, зв'язністю, здатністю при нагріванні виділяти воду.

При зволоженні бентоніт інтенсивно поглинає воду, збільшується в об'ємі в 15-20 разів. Утворює гелі з надмірно розвинутою питомою поверхнею. Заповнюючи простір між рудними часточками, бентоніт істотно підвищує їх зчіплювання.

У зв'язку з цим нині проводиться дослідження щодо заміни бентоніту іншими матеріалами, наприклад, сумішшю бентоніту і соди, вапном, хлоридом кальцію, залізним купоросом, крохмалем, розчином сульфату

марганцю, а також залізною рудою з пустою породою, яка містить підвищену кількість глинозему.

Для огрудкування використовують барабанні або дискові гранулятори. Барабанний гранулятор принципово не відрізняється від огрудкувача агломераційної шихти. За винятком значно довшого перебування матеріалу в барабані. Тарілчатий гранулятор представляє собою плоску чашу діаметром 5,5 м з бортами, нахилену до горизонту під кутом 40-60°.

Кут нахилу за допомогою механізмів можна змінювати. Мотор за допомогою механізму можна змінювати. Мотор за допомогою механізму привода дозволяє змінювати швидкість обертання чаші від 6 до 9 об/хв. Продуктивність такого гранулятора – 30-40 т/год. Тарілчасті гранулятори видають окатиші певного розміру, що залежить від висоти борта чаші, кута нахилу тарелі, вологості матеріалу, кількості бентоніту в шихті.

Сирі окатиші мають міцність, недостатню для транспортування їх у доменний цех. Існує два методи зміцнення окатишів: безвипалювальний та високотемпературний випал. Безвипалювальний метод не вийшов зі стадії промислового дослідження. Збільшення міцності окатиша досягається за рахунок введення в'язучої речовини. Таким в'язучим може бути вапно ( гашене ), портландцемент або шлаковий цемент.

Основними недоліками безвипалювального методу є низька продуктивність агрегатів, невисока міцність окатишів ( особливо при їх відновленні ) і неможливість видалення з них шкідливих домішок у процесі отримання.

#### Процес випалу окатишів в конвеєрній машині.

Високотемпературний випал окатишів здійснюється в агрегатах трьох типів: шахтних печах, конвеєрних машинах і комбінованих установках.

Шахтні печі не отримали значного поширення, не дивлячись на низькі експлуатаційні витрати на випалювання. Це пояснюється відносно низькою продуктивністю печей і можливістю руйнування й оплавлення окатишів, що призводить до утворення настилів на стінках шахти і порушення руху газового потоку в стовпі матеріалів.

Найбільшого поширення отримав випал окатишів на конвеєрних машинах, які за своєю будовою аналогічні агломераційним машинам. Відмінність конвеєрних машин для випалу окатишів полягає у тому, що вони мають підвищену стійкість колосників, тому що нагріваються до більш високих температур; більш низький вакуум під колосниковою решіткою із-за високої газопроникливості шару окатишів.

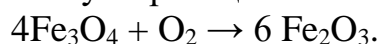
Відповідно до технології процесу випалювання для кращого використання тепла машина поділена на технологічні зони, перекриті зверху спеціальними секціями горна. Тепловий режим у кожній секції встановлюється незалежно від режиму інших секцій. Частіше за все конвеєрна машина складається із таких секцій: сушіння ( одна або дві секції ), підігрівання. Випалу ( від однієї до трьох секцій ), рекуперації та охолодження ( одна або дві ).

Сушіння окатишів здійснюється гарячими газами, що подаються із зони випалу знизу вгору ( I зона сушіння ) та із зони охолодження зверху вниз ( II зона сушіння ). Випал проводиться продуктами горіння газу, спалюваного під шаром окатишів у пальниках, які встановлюються в камері, що перекриває зону випалювання.

Охолоджуються окатиші продуванням холодним повітрям знизу і просмоктуванням його зверху крізь шар окатишів. Площа зони охолодження складає 30-35% від площі машини. Частина зони охолодження зверху перекрита ковпаком, під яким створюється надлишковий тиск гарячого повітря, нагрітого вище 800°C. Це повітря шляхом перетікання надходить у зону рекуперації і далі у зони підігрівання і випалу, де використовується для горіння газу в пальниках. З останньої частини зони охолодження повітря, нагріте до 300°C, всмоктується димососом і також направляється до пальників зон підігрівання і випалу.

Висушені окатиші підлягають подальшому нагріванню, при якому відбувається їхнє зміцнююче випалювання. При випалу зміцнення дрібних часточок залізородних матеріалів, нагрітих до температури розм'якшування і плавлення. Процес спікання відбувається при нагріванні до температури порядку 0,7-0,8 температури плавлення основного компонента окатиша.

При нагріванні окатишів розвиваються процеси окислювання ( якщо випалювання проводиться в окислювальній атмосфері ). Оскільки, в основному, окатиші виготовляються із концентратів магнетитових руд, то магнетит окислюється до гематиту за реакцією



Цей процес істотно впливає на властивості обпалених окатишів: у результаті окислення магнетиту утворюється активний свіжоутворений окис заліза, який зумовлює зростання швидкості спікання часток, отримання щільної дрібнопористої структури окатиша. У перерізі окатиш однорідний, не має двозонної гематито-магнетитової структури і напружень. Швидкість процесу окислення залежить від температури і вмісту кисню в газах. Процес проходить при температурі до 1000-1150°C.

Значно більший вплив на зміцнення окатишів має утворення рідкої фази з подальшим її застиганням. Механізм зміцнення у цьому випадку аналогічний механізму утворення агломерату. Утворенню рідкої фази передують хімічні реакції у твердих фазах. При випалі не флюсованих окатишів з магнетитових концентратів основна реакція – реакція взаємодії  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  і  $\text{SiO}_2$  з утворенням силікатів заліза. Швидке окислення магнетиту при окислювальному випалюванні перешкоджає утворенню силікатів заліза, тому що  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  і  $\text{SiO}_2$  не взаємодіють.

При випалюванні офлюсованих окатишів у твердих фазах взаємодіють  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з  $\text{CaO}$  і  $\text{MgO}$ . Утворювані з'єднання мають відносно низькі температури плавлення, що і забезпечує отримання рідкої фази.

На відміну від процесу агломерації, при випалюванні окатишів наявність рідкої фази повинна бути невеликою, тому що в протилежному випадку

окатиші оплавляються, що приводить до сплавлення їх у міцні грона і конгломерати. Обмеження кількості рідкої фази досягається випалюванням в точно визначеному інтервалі температур. Кількість розплаву, яка забезпечує високу стійкість окатишів і відсутність грон і конгломератів, коливається в межах 12-20% від маси окатишів.

На міцність окатишів впливає не тільки кількість рідкої фази, але й її фізичні властивості ( в'язкість, змочувальність ). Рідка фаза з низькою в'язкістю і хорошою змочувальною здатністю краще обволокує зерна концентрату і забезпечує отримання міцних концентратів. Додавка компонентів, що знижують в'язкість розплаву, добре змочуваного зерна концентрату ( розплав на основі феритів кальцію ), збільшує міцність окатишів.

#### Інтенсифікація процесу випалу окатишів на конвеєрній машині

Співставлення питомих продуктивностей окремих зон по готовій продукції (табл. 1.1) показує, що на машинах ОК-108 вони приблизно однакові та нижчі ( на 8-11,5% ), ніж на машинах більшого розміру, де є більші швидкості фільтрації теплоносія і більша його температура. Тому, що на всіх комбінатах сирі окатиші мають приблизно близьку вологість ( біля 9% ) і вихідні матеріали ( концентрат та вапняк ) є кристалічні з малим вмістом гідратної води, а сирі окатиші мають близькі значення пористості ( біля 305 ), то на випалювальних машинах ОК-108 можна збільшити питому продуктивність зони сушки до рівня машин Північного комбінату шляхом підвищення тиску теплоносія з 400 до 800 мм вод. Ст. I його температури з 250 до 350°C.

Таблиця 1.1

Питома продуктивність зон випалювання машин, т/(м<sup>2</sup>·г)

Зони	Фабрики огрудкування				
	ССГЗК ОК-108	ЦГЗК ОК-108	КачГЗК ОК-108	ПівнГЗК	
				ОК-278	ОК-306
Сушка	3,96	4,06	3,87	4,66	4,2
Підігріву	4,67	9,3	11,38	5,84	9,82
Випалу	3,9	3,99	2,28	4,66	3,27
Рекуперації	11,7	5,57	4,55	11,67	14,72
Охолодження	2,6	4,65	4,55	1,865	1,96
В цілому по машині	0,847	0,956	0,825	0,882	0,866

Питому продуктивність зон підігріву, випалу та рекуперації можна збільшити на 16-32% до значень, які є на машинах ПівнГЗК, шляхом збільшення розрідження під шаром з 300 до 600 мм вод. ст.

Збільшення питомої продуктивності зони сушки обмежується збереженням цілості окатишів та газопроникності шару. При максимальній продуктивності необхідно попередити розтріскування, роздавлення і злипання окатишів.

Дослідні дані показують, що зменшення вологості окатишів дозволяє збільшити швидкість подачі тепла у шар підвищенням швидкості фільтрації теплоносія та його температури, при сушці окатишів просмокуванням зверху униз можливе поступове підвищення температури газу над шаром у відповідності зі зменшенням вологості окатишів, але на початку процесу неминуче перезволоження нижнього шару окатишів, зменшення їх міцності на 30-40%, що обмежує швидкість фільтрації газу і висоту шару відповідно  $0,8-1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  та 350-400 мм. Інтенсифікація процесу сушки у цьому випадку може бути досягнута збільшенням розрідження під шаром у останній третині зони у відповідності з уже здійсненим зміцненням окатишів.

При сушці окатишів дуттям знизу швидкість фільтрації теплоносія обмежена сталістю шару проти псевдозрідження.

Сушка дуттям знизу має перевагу над сушкою просмокуванням униз у тому, що забезпечує на 14-15% більшу газопроникність шару у послідовних зонах. Досліди показують, що навіть при швидкостях фільтрації до 2,5 м/с і температурі теплоносія до 400-450°C видимого руйнування окатишів у процесі сушки не відбувається. Але збільшення швидкості фільтрації дозволяє значно зменшити тривалість сушки. При збільшенні швидкості газу з 0,6 до 1,5 м/с тривалість сушки скорочується суттєво. Подальше збільшення швидкості фільтрації до 2-2,5 м/с недоцільно, бо тривалість сушки практично не зменшується. Інтенсивність сушки збільшується з ростом температури з 200 до 450°C зменшує тривалість сушки з 10 до 4 хв.

На тривалість сушки оказує вплив також напрямок руху теплоносія: при просмокуванні його сушка закінчується швидше, ніж при продуві і змінному його напрямку. Більш інтенсивне видалення вологи при просмокуванні газу пояснюється збігом вектора сили ваги крапель сконденсованої води з напрямком руху теплоносія. Просмокування теплоносія дозволяє скоротити тривалість сушки на 20-35%, але він може бути тільки при відсутності перезволоження та руйнування окатишів унизу шару, що можливе лише при сушці відносно тонкого шару (150-170 мм). Як показують дослідження, найбільш доцільною на випалювальних машинах є схема зони сушки з перемінним напрямком руху теплоносія, яка дозволяє уникнути перезволоження шару. При сушці дуттям знизу перезволоження верха шару менше небезпечно, ніж низу, та можна підтримувати більшу швидкість фільтрації газу, враховуючи, що постіль пом'якшує умови сушки у початковий момент. Але необхідно знижувати температуру та швидкість теплоносія у другій зоні сушки просмокуванням внаслідок перезволоження верхнього шару.

Питому продуктивність зони сушки можна збільшити з 4,5 до 6,75 т/(м<sup>2</sup>·г) поступовим ( або ступеневим ) підвищенням тиску і температури теплоносія під шаром відповідно з 350 та 900 до 800°С та 2500 мм вод. ст.

При сталому розрідженні під шаром впродовж машини швидкість фільтрації зменшується в першому наближенні пропорційно нагріву шару. Питому продуктивність зони випалу можна збільшити підвищенням вакууму під шаром. Але це важко виконати у зв'язку з високою температурою відходячих газів і підвищення витрат тепла із-за великих підсмоктувань холодного повітря.

Підвищення швидкостей фільтрації газу-теплоносія через шар у зоні підігріву призводить до значної інтенсифікації нагріву шару. Ступінь завершення теплообміну, визначена, як відношення кінцевої температури окатишів до початкової температури теплоносія, росте при збільшенні швидкості фільтрації до 2,5-3,0 м/с: подальше їх підвищення впливає на ступінь завершення теплообміну у значно меншій мірі. Збільшення швидкості фільтрації до суттєвого прискорення нагріву, особливо окатишів низу шару, не призводить.

Температура газу-теплоносія також впливає на завершення теплообміну: чим більша температура, тим більше час, необхідний для завершення теплообміну, і тим менше ступінь завершення теплообміну за обмежений час.

Вплив температури газового теплоносія на прогрівання шару окатишів менше, ніж швидкості фільтрації. Так, збільшення швидкості фільтрації з 1 до 3 м/с призводить до зменшення тривалості нагріву шару окатишів у 2,8-3,3 рази. Підвищення ж температури теплоносія з 600 до 1100°С дозволяє скоротити тривалість нагріву у 1,4-1,7 рази. Одночасне збільшення швидкості фільтрації та температури теплоносія дозволяє обмежити тривалість нагріву 2-3 хв. Таким чином, найбільш ефективно можна розігріти шар, поєднуючи великі швидкості фільтрації з високими температурами теплоносія. Найбільш суттєво питому продуктивність зони випалу підвищує додавання у шихту твердого палива.

У зв'язку з тим, що вентилятори зони випалу є високотемпературними та дуже складно підвищити їх параметри, доцільно на першому етапі зони випалу додати у шихту вуглець твердого палива. Ця добавка та підвищення розрідження під шаром дозволяють збільшити питому продуктивність зони випалу до 5,5-6,0 т/(м<sup>2</sup>·г) без погіршення якості окатишів ( рис. 1.1 ). При добавленні у шихту вуглецю якість окатишів підвищується також за рахунок більшої рівномірності випалу у верхній та нижній частинах шару.

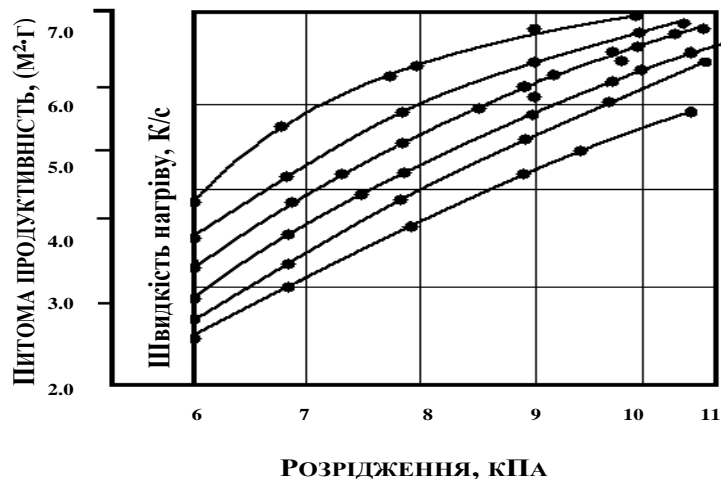


Рис. 1. Залежності питомої продуктивності та швидкості нагріву окатишів від розрідження під шаром під час випалу і вміст вуглецю у шихті (числа біля кривих, %)

Одним із суттєвих способів інтенсифікації термообробки залізорудних окатишів на конвеєрних машинах є комбіноване спалення газу над шаром та у шарі матеріалу. Інтенсифікація випалу окатишів при цьому здійснюється завдяки скороченню часу випалу при просмоктуванні продуктів факельного опалення газу у горні зони випалу. При звичайному способі випалу в цій зоні шар окатишів необхідно нагріти до 1200-1300° С на глибину 150-200 мм, що потребує значного часу випалу. При комбінованому спаленні газу до такої температури шар окатишів потрібно нагріти лише на глибину 50-75 мм, що дозволяє у 1,5-2 рази зменшити час випалу спаленням газу над шаром.

Комбінований спосіб випалу окатишів дозволяє значно інтенсифікувати процес охолодження окатишів, який розпочинається уже з охолодження поверхні шару та продовжується до припинення подачі газу у шар, що дозволяє знизити

середню температуру окатишів перед зоною охолодження до 800-900°С та збільшити продуктивність зони охолодження на 0,5 т/(м²·г).

Для зменшення перегріву випалювальних візків та зменшення витрати тепла охолодження необхідно здійснювати продувом повітря знизу вверху. При цьому у випадку установки одного дуттєвого колектору на всю довжину зони охолодження питома продуктивність обмежується допустимою швидкістю фільтрації по умові сталості шару ( відсутність його “закипання”), яка складає приблизно 2 м³/(м²·с) у кінці зони. Внаслідок впливу нагріву шару на його газопроникність середня швидкість фільтрації досягає 1-1,4 м³/(м²·с), що забезпечує питому продуктивність, яка дорівнює 2.5-3,5 т/(м²·г) при охолодженні окатишів до 100°С.

На початку зони охолодження допустима швидкість фільтрації повітря по умові сталості шару настільки велика, що обмеженням є



можливе підвищення тиску під шаром, яке дорівнює 1200-1500 мм вод. ст. У кінці зони охолодження швидкість фільтрації може бути збільшена просмокуванням при розрідженні під шаром 1200-1500 мм вод. ст. Подальше збільшення питомої продуктивності зони охолодження можливе подачею у шар водяного туману при доохолодженні окатишів від температур, нижчих 200°С.

При збільшенні тиску ( розрідження ) під ( над ) шаром до 1200-1500 мм вод. ст. Питома продуктивність збільшується до 5,2 т/(м<sup>2</sup>·г), а при подачі у шар водяного туману – до 6,2 т/(м<sup>2</sup>·г).

Ефективність охолодження у великій мірі визначається висотою шару: чим вона більша, тим ефективніше охолодження. Тому доцільно збільшувати висоту шару, обмежуючи її лише можливостями тягодуттєвого устаткування.

## 2 Технологічна частина

### Розрахунок шихтита хімічного складу обкотишів

2.1. Вихідні данні для розрахунку

2.1.1 Хімічний склад компонентів шихти, згідно отриманого варіанту для розрахунку обкотишів.

2.1.2 Співвідношення флюсових складових у флюсовій суміші: вапняк – 30%; доломитизований вапняк – 70%.

2.1.3 Співвідношення паливних складових в паливній суміші: коксовий дріб'язок – 60%; антрацитовий штиб – 40%.

2.1.4 Питомі витрати вуглецю паливної суміші на 1000 кг обкотишів – 7,5 кг/т.

2.1.5 Питомі витрати бентонітової глини – 6,9 кг/т.

2.1.6 Вміст FeO в обкотишах – 7,2%.

2.1.7 Основність  $\frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3}$  обкотишів – 0,8 д.ед.

2.1.8 Степінь десульфурації шихти – 80%.

2.1.9 Річна виробнича потужність фабрики обкотишів – 7 млн. т

2.1.10. Розрахунок питомих витрат компонентів шихти

2.1.11 Хімічний склад компонентів шихти

## Продовження таблиці 2.1

Компоненти	Вміст компонентів, %							Вміст вологи ,%
	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Інші	ППП	∑окис лів	
1.Залізорудний концентрат	0,08	0,048	0,037	0,928	0,147	0,220	100.00	10,3
2.Вапняк	0,54	0,020	0,200	0,050	0,310	42,74	100.00	3,7
3.Доломитизов аний вапняк	8,50	0,090	0,030	0,060	0,970	44,19	100.00	4,1
4.Зола коксового дріб'язку	1,38	0,970	0,370	2,282	0,318	-	100.00	-
5.Бентонітова глина	3,58	0,110	0,192	0,280	3,398	6,98	100.00	25,6
6.Зола антроцитового штибу	5,31	0,970	0,831	2,670	0,439	-	100.00	-

Таблиця 2.2

## Технічний аналіз твердого палива

Компонент	Вміст вологи, %	Вміст компонентів, %				
		зола	Сірка горюча	Летучі	Вуглець горючий	∑окислів
Коксовий дріб'язок	10,48	14,65	2,31	1,86	81,18	100.00
Паливна суміш	6,94	14,46	1,89	5,32	78,33	100.00

## 2.2 Розрахунок хімічного складу твердого палива

Хімічний склад коксового дріб'язку розраховується, використовуючи данні хімічного складу золи та технічного аналізу коксового дріб'язку. Без змін в хімічний склад твердого палива переходять з технічного аналізу горюча сірка, летучі та вуглець горючий. Також необхідно врахувати, що горюча сірка та летучі входять до ППП. Компоненти хім. складу золи перераховуємо до складу твердого палива пропорційно кількості в ньому золи. Розрахований хімічний склад коксового дріб'язку в таблиці 3.3.

Таблиця 2.3  
Хімічний склад твердого палива

Компоненти	Вміст компонентів, %								
	Fe <sub>общ</sub>	Mn	P	S <sub>общ</sub>	Feo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Коксовий дріб'язок	2,474	0,110	0,024	2,31	-	3,535	6,299	3,154	0,882
Антроцитовий штиб	2,144	0,109	0,052	1,89	-	3,063	5,683	2,512	1,725

Продовження таблиці 2.3

Компоненти	Вміст компонентів, %								
	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	C <sub>г</sub> <sup>c</sup>	Інші	ППП		Σ окислів
							S <sub>г</sub> <sup>c</sup>	Летучі	
Коксовий дріб'язок	0,202	0,142	0,054	0,334	81,18	0,047	2,31	1,86	100,0
Антроцитовий штиб	0,768	0,140	0,120	0,386	78,33	0,063	1,89	5,32	100,0

### 2.3 Розрахунок середньо зважених складів сумішей

Розрахунок середньо зважених складів рудної, флюсової та паливної сумішей виконують, використовуючи хім. склад компонентів шихти, які входять в ці суміші та задану кількість цих компонентів. Середньо зважений хім. склад рудної, флюсової та паливної сумішей в таблиці 2.4, 3.5 та 2.6.

Таблиця 2.4

### Середньо зважений хімічний склад залізорудної суміші

Компоненти	Вміст компонентів, %								
	Fe <sub>общ</sub>	Mn	P	S <sub>общ</sub>	Feo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Залізорудний концентрат	66,24	0,037	0,016	0,372	26,34	65,35	6,34	0,18	0,01

Продовження

таблиці 2. 4

Компоненти	Вміст компонентів, %						
	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Інші	ППП	∑ окислів
Залізорудний концентрат	0,08	0,048	0,037	0,928	0,147	0,220	100.00

Таблиця 2.5

Середньо зважений хімічний склад компонентів шихти

Компоненти	Вміст компонентів, %								
	Fe <sub>общ.</sub>	Mn	P	S <sub>общ.</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Вапняк ×0,30	0,096	0,005	0,026	0,006	0,066	0,063	0,291	0,039	16,383
Доломитизований вапняк ×0,70	0,378	0,049	0,009	0,017	0,217	0,301	0,84	0,644	30,31
Флюсова суміш	0,474	0,054	0,035	0,023	0,283	0,364	1,131	0,683	46,693

Продовження таблиці 2.5

Компоненти	Вміст компонентів, %						
	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Інші	ППП	∑ окислів
Вапняк ×0,30	0,162	0,006	0,6	0,015	0,093	12,822	30.0
Доломитизований вапняк ×0,70	5,95	0,063	0,021	0,042	0,679	30,933	70.0
Флюсова суміш	6,112	0,069	0,081	0,057	0,772	43,755	100.0

Таблиця 2.6

Середньо зважений хімічний склад твердого палива

Компоненти	Вміст компонентів, %								
	Fe <sub>общ.</sub>	Mn	P	S <sub>общ.</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Коксовий дріб'язок ×0,60	1,484	0,066	0,014	0,094	-	2,121	3,779	1,892	0,529
Антроцитовий штиб ×0,40	0,858	0,044	0,021	0,062	-	1,225	2,273	1,005	0,69

Паливна суміш	2,342	0,11	0,03 5	0,15 6	-	3,346	6,052	2,897	1,219
---------------	-------	------	-----------	-----------	---	-------	-------	-------	-------

Продовження таблиці 2.6

Компоненти	Вміст компонентів, %								
	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	C <sub>Г</sub> <sup>c</sup>	Інші	ППП		Σокислів
							S <sub>Г</sub> <sup>c</sup>	Летучі	
Коксовий дріб'язок ×0,60	0,121	0,085	0,032	0,200	48,708	0,028	1,386	1,116	60,0
Антроцитовий штиб ×0,40	0,307	0,056	0,048	0,154	31,332	0,025	0,756	2,128	40,0
Паливна суміш	0,428	0,141	0,08	0,354	80,04	0,053	2,142	3,244	100,0

#### 2.4 Розв'язок рівнянь матеріального балансу та основності

Для розв'язання рівняння матеріального балансу розраховуємо середньо зважені, коефіцієнти виходу обпаленої маси з сухої маси кожного компонента шихти ( $K^0$ ) та середньо зважений приріст (+) або втрати (-) маси від окислення або відновлення окислів заліза ( $O_2^0$ ).

$$K^0 = 0,01 \cdot (100 - \eta_s \cdot S_{\text{общ}}^0 - C_{\text{Г}}^0 - \eta_{\text{ППП}} \cdot \text{ППП}^0 - \text{MnO}_2^0 \cdot \frac{16}{87}), \text{ д.ед.}$$

де:  $S_{\text{общ}}^0$ ,  $C_{\text{Г}}^0$ ,  $\text{ППП}^0$ ,  $\text{MnO}_2^0$  – середньо зважений вміст відповідно загальної сірки, горючого вуглецю, ППП та окислів марганцю в компонентах шихти, %;

$\eta_{\text{ППП}}$ ,  $\eta_s$  – прийняті степені видалення, відповідно, ППП та сірки, д. ед.

$$K_p^0 = 0,01 \cdot (100 - 0,8 \cdot 0,372 - 0 - 0,220) = 0,9945$$

$$K_{\text{ф}}^0 = 0,01 \cdot (100 - 0,8 \cdot 0,023 - 0 - 43,755) = 0,5622$$

$$K_{\text{Г}}^0 = 0,01 \cdot (100 - 0,8 \cdot 0,156 - 80,04 - 3,244) = 0,1658$$

$$K_{\text{Б}}^0 = 0,01 \cdot (100 - 0,8 \cdot 0,112 - 0 - 6,98) = 0,9292$$

$$O_2^0 = \frac{1}{9} \cdot \left( \frac{P_{\Sigma} \times \text{FeO}_{\text{р}}}{100} + \frac{\Phi_{\Sigma} \times \text{FeO}_{\text{ср}}}{100} + \frac{T_{\Sigma} \times \text{FeO}_{\text{т}}}{100} + \frac{Б_{\Sigma} \times \text{FeO}_{\text{б}}}{100} - \text{FeO}^0 \right), \text{ кг/т обкотишів}$$

де:  $\text{FeO}^0$  – середньо зважений вміст закиси заліза в сумішах компонентів шихти та обкотишів, %

$$O_2^0 = \frac{1}{9} \cdot (P_{\Sigma} \cdot 26,34/100 + \Phi_{\Sigma} \cdot 0,283/100 + T_{\Sigma} \cdot 0/100 + Б_{\Sigma} \cdot 0/100 - 7,2) = 0,029$$

$$P_{\Sigma} + 0,003 \Phi_{\Sigma} - 0,8$$

Складаємо рівняння матеріального балансу:

$$1000 = 0,9945 P_{\Sigma} + 0,5622 \Phi_{\Sigma} + 0,1658 T_{\Sigma} + 0,9292 Б_{\Sigma} + 0,029 P_{\Sigma} + 0,0003$$

$\Phi_{\Sigma} - 0,8$

Після спрощення рівняння виходить:

$1000,8=1,0235P_{\Sigma}+0,5625\Phi_{\Sigma}+0,1658T_{\Sigma}+0,9292B_{\Sigma}$   
 Складаємо рівняння балансу основності:  
 $0,8=0,41P_{\Sigma}+52,805\Phi_{\Sigma} \qquad \qquad \qquad +1,647T_{\Sigma}+6,84B_{\Sigma}$   
 $/6,52P_{\Sigma}+1,814\Phi_{\Sigma}+8,949T_{\Sigma}+76,79B_{\Sigma}$   
 $0,8 \cdot (6,52P_{\Sigma}+1,814\Phi_{\Sigma}+8,949T_{\Sigma}+76,79 \qquad \qquad \qquad B_{\Sigma}$   
 $=0,41P_{\Sigma}+52,805\Phi_{\Sigma}+1,647T_{\Sigma}+6,84 B_{\Sigma}$   
 Після спрощення рівняння виходить:  
 $5,458P_{\Sigma}-51,1724\Phi_{\Sigma}+6,4071T_{\Sigma}= - 62,271$   
 $T_{\Sigma}= 7,5/0,8004=9,3703 \text{ кг}; \quad B_{\Sigma}=6,9\text{кг}$   
 Таким чином, отримуємо систему 2-х рівнянь з 3-ма невідомими:  
 $1,0235 P_{\Sigma} +0,5625 \Phi_{\Sigma}+0,1658 \cdot 9,3703+0,9292 \cdot 6,9=1000,8$   
 $5,458 P_{\Sigma} -51,1724 \Phi_{\Sigma}+6,4071 T_{\Sigma}+62,271 \cdot 6,9=0$   
 Підставимо отримане значення (  $T_{\Sigma}$  ) в систему двох балансових рівнянь, спростимо їх, та отримаємо:  
 $1,0235 P_{\Sigma} +0,5625 \Phi_{\Sigma}=992,8349 \mid \cdot 5,458$   
 $5,458 P_{\Sigma} -51,1724 \Phi_{\Sigma}= -489,7063 \mid \cdot (-1,0235)$   
 Отримаємо:  
 $5,5863 P_{\Sigma} +3,0707 \Phi_{\Sigma}=5418,8929$   
 $-5,5863 P_{\Sigma} +52,3749 \Phi_{\Sigma}=501,2144$   
 $\Phi_{\Sigma}=106,7733$   
 $P_{\Sigma}=911,3409$   
 Знаючи співвідношення компонентів шихти в кожній з сумішей, ми можемо визначити їх питомі витрати (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7

Питомі витрати компонентів шихти

Компоненти шихти	Позначення	Питомі витрати, кг/т обкотишів
Залізорудний концентрат	$P_{з.к.}$	911,3409
Вапняк	$\Phi_{в}$	32,03199
Доломитизований вапняк	$\Phi_{дв}$	74,7413
Коксовий дріб'язок	$T_{кд}$	5,6222
Антроцитовий штиб	$T_{а.ш.}$	3,74812
Бентонітова глина	$B$	6,9
Усього сухої шихти	$G_{ш}$	1034,8451

## 2.5. Розрахунок хімічного складу обкотишів

2.5.1 Для розрахунку хім. складу обкотишів необхідно розрахувати масу окислів, які вносяться в обкотиш з кожним компонентом шихти, також треба врахувати степінь видалення відповідних окислів та елементів. Масу розраховують, використовуючи питомі витрати компонентів шихти та вміст в ньому розрахункового елементу або окислу.

$$Fe_{\text{общ}}=911,3409 \cdot 0,6624+32,03199 \cdot 0,0032+74,7413 \cdot 0,0054+5,6222 \cdot 0,02474+3,74812 \cdot 0,02144+6,9 \cdot 0,0379=604,6593 \text{ кг}$$

$$S_{\text{общ}}=911,3409 \cdot 0,00372+32,03199 \cdot 0,002+74,7413 \cdot 0,00024+5,6222 \cdot 0,0231+3,74812 \cdot 0,0189+6,9 \cdot 0,00112=3,6229 \text{ кг}$$

$$FeO=911,3409 \cdot 0,2634+32,03199 \cdot 0,0022+74,7413 \cdot 0,0031+5,6222 \cdot 0+3,74812 \cdot 0+6,9 \cdot 0=240,34937 \text{ кг}$$

$$Fe_2O_3=911,3409 \cdot 0,6535+32,03199 \cdot 0,0021+74,7413 \cdot 0,0043+5,6222 \cdot 0,03535+3,74812 \cdot 0,03063+6,9 \cdot 0,0541=596,63677 \text{ кг}$$

$$SiO_2=911,3409 \cdot 0,0634+32,03199 \cdot 0,0097+74,7413 \cdot 0,012+5,6222 \cdot 0,06299+3,74812 \cdot 0,05683+6,9 \cdot 0,6219=63,8448 \text{ кг}$$

$$Al_2O_3=911,3409 \cdot 0,0018+32,03199 \cdot 0,0013+74,7413 \cdot 0,0092+5,6222 \cdot 0,0315+3,74812 \cdot 0,02512+6,9 \cdot 0,146=3,64834 \text{ кг}$$

$$CaO=911,3409 \cdot 0,0033+32,03199 \cdot 0,5461+74,7413 \cdot 0,4330+5,6222 \cdot 0,00882+3,74812 \cdot 0,01725+6,9 \cdot 0,0326=53,2021 \text{ кг}$$

$$MgO=911,3409 \cdot 0,0008+32,03199 \cdot 0,0054+74,7413 \cdot 0,085+5,6222 \cdot 0,00202+3,74812 \cdot 0,00768+6,9 \cdot 0,0358=7,5422 \text{ кг}$$

$$MnO=911,3409 \cdot 0,00084+32,03199 \cdot 0,0002+74,7413 \cdot 0,0009+5,6222 \cdot 0,00142+3,74812 \cdot 0,0014+6,9 \cdot 0,0011=0,5247 \text{ кг}$$

$$P_2O_5=911,3409 \cdot 0,00037+32,03199 \cdot 0,002+74,7413 \cdot 0,0003+5,6222 \cdot 0,00054+3,74812 \cdot 0,0012+6,9 \cdot 0,00192=0,4445 \text{ кг}$$

$$SO_3=911,3409 \cdot 0,00928+32,03199 \cdot 0,0005+74,7413 \cdot 0,0006+5,6222 \cdot 0,00334+3,74812 \cdot 0,00386+6,9 \cdot 0,0028=8,5706 \text{ кг}$$

$$C_r=911,3409 \cdot 0+32,03199 \cdot 0+74,7413 \cdot 0+5,6222 \cdot 0,8118+3,74812 \cdot 0,7833+6,9 \cdot 0=7,5 \text{ кг}$$

$$\text{Інші}=911,3409 \cdot 0,00147+32,03199 \cdot 0,0031+74,7413 \cdot 0,0097+5,6222 \cdot 0,00047+3,74812 \cdot 0,00063+6,9 \cdot 0,03398=2,4034 \text{ кг}$$

$$\text{ППП}=911,3409 \cdot 0,0022+32,03199 \cdot 0,4274+74,7413 \cdot 0,4419+5,6222 \cdot 0,0417+3,74812 \cdot 0,0721+6,9 \cdot 0,0698=49,7098 \text{ кг}$$

2.5.2 Розрахунок маси елементів та окислів, які переходять в обкотиш з шихти після хімічних реакцій визначаються за допомогою степені їх переходу в обкотиш .

Приймаємо степінь десульфурації шихти – 80%, степінь видалення ППП - , степінь вигорання вуглецю горючого шихти – 100%

Маса окисленої (-) або відновленої (+) закиси заліза (FeO):

$$G_{FeO}=1000 \cdot 0,072-240,34937 = - 168,3494 \text{ кг}$$

Відповідно, маса Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, яка виникла під час окислення FeO (+) або втратила на відновлення необхідної кількості FeO (-):



$$G_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = (168,3494 \cdot 160)/144 = 187,0549 \text{ кг}$$

Маса загальної сірки ( $S_{\text{обш}}$ ):

$$G_{S_{\text{обш}}} = (3,6229 \cdot 80)/100 = 2,8983 \text{ кг}$$

Маса ППП:

$$G_{\text{ППП}} = (49,7098 \cdot 95,8)/100 = 47,6219 \text{ кг}$$

Маса вуглецю горючого ( $C_{\text{сг}}$ ) 7,5

$$G_C = (7,5 \cdot 100)/100 = 7,5 \text{ кг}$$

$$G_{\text{SO}_3} = (8,5706 \cdot 80)/100 = 6,8565 \text{ кг.}$$

Результати виконаних розрахунків зносимо до таблиці 3.8.

Хімічний склад обкотишів заносимо до таблиці 2.9 .

Таблиця 2.9

Хімічний склад обкотишів

Вміст компонентів, %						
Fe <sub>общ</sub>	S <sub>общ</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
60,9799	0,0731	7,2612	79,0353	6,4388	0,3679	5,3654

Продовження таблиці 2.9

Вміст компонентів, %						
MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Інші	ППП	Σокислів
0,7606	0,0529	0,0448	0,1729	0,2424	0,2106	100,0

Перевіряємо основність розрахованого обкотишу:

$$\frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3} = (5,3654+0,7606)/(6,4388+0,3679) = 0,7999 \text{ д.ед.}$$

$$\frac{CaO+MgO}{SiO_2} = (5,3654+0,7606)/6,4388 = 0,95 \text{ д.ед.}$$

$$\frac{CaO}{SiO_2} = 0,83 \text{ д.ед.}$$

2.6. Вибір та обчислення необхідності головного технологічного обладнання цеху по виробництву обкотишів

2.6.1 Обчислення по годинного виробництва

По годинне виробництво цеху при річному виробництві 7000000

т/год

обкотишів:

$$P_0 = \frac{7000000}{0,8 \cdot 365 \cdot 24} = \frac{7000000}{7884} = 887,8742 \text{ т/година}$$

2.6.2 Обчислення по годинної необхідності в компонентах шихти

:

$$P_{ж.к.} = 887,8742 \cdot 1,0202871 = 905,8866 \text{ т / година}$$

$$P_u = 887,8742 \cdot 0,0337155 = 29,9351 \text{ т / година}$$

$$P_{д.ш.} = 887,8742 \cdot 0,0789728 = 70,1179 \text{ т / година}$$

$$P_{к.м.} = 887,8742 \cdot 0,0063045 = 5,5976 \text{ т / година}$$

$$P_{а.ш.} = 887,8742 \cdot 0,0040683 = 3,6121 \text{ т / година}$$

$$P_{б.г.} = 887,8742 \cdot 0,0087964 = 7,8101 \text{ т / година}$$

2.6.3 Обчислення потрібної кількості витратних бункерів для компонентів шихти:

Кількість бункерів для залізородного концентрату:

$$n_{ж.к.} = \frac{905,8866 \cdot 8}{2,23 \cdot 200 \cdot 0,85} = \frac{7247,0928}{379,1} = 19,12$$

Приймаємо 20 бункерів.

Кількість бункерів для вапняка:

$$n_u = \frac{29,9351 \cdot 8}{1,51 \cdot 200 \cdot 0,85} = \frac{239,4808}{256,7} = 0,9329$$

Приймаємо 2 бункера.

Кількість бункерів для доломитизированного вапняка:

$$n_u = \frac{70,1179 \cdot 8}{1,56 \cdot 200 \cdot 0,85} = \frac{560,9432}{265,2} = 2,1152$$

Приймаємо 2 бункера.

Кількість бункерів для коксового дрібязку:

$$n_u = \frac{5,5976 \cdot 8}{0,63 \cdot 200 \cdot 0,85} = \frac{44,7808}{107,1} = 0,4181$$

Приймаємо 2 бункера.

Кількість бункерів для антрацитового штибу:

$$n_u = \frac{3,6121 \cdot 8}{0,68 \cdot 200 \cdot 0,85} = \frac{28,8968}{115,6} = 0,2499$$

Приймаємо 2 бункера.

Кількість бункерів для бентонитової глини:

$$n_u = \frac{7,8101 \cdot 8}{1,26 \cdot 200 \cdot 0,85} = \frac{62,4808}{214,2} = 0,2917$$

Приймаємо 2 бункера.

2.6.4 Обчислення кількості шарових млинів для підготовки флюсів, твердого палива та бентонитової глини за крупністю .

Кількість шарових млинів (ШБМ 3700/850),  $q=40-50$  т/ч:

- для флюсів

$$n = \frac{P_u + P_{d.u.}}{q} = \frac{29,9351 + 70,1179}{40} = \frac{100,053}{40} = 2,5013$$

Приймаємо 4 млина.

- для твердого палива

$$n = \frac{P_{к.м} + P_{a.ш.}}{q} = \frac{5,5976 + 3,6121}{40} = \frac{9,2097}{40} = 0,2302$$

Приймаємо 2 млина.

- для бентонітової глини

$$n = \frac{P_{б.г.}}{q} = \frac{7,8101}{40} = 0,1953$$

Приймаємо 2 млина.

2.6.5 Вибір і обчислення обладнання для термообробки сирих обкотишів.

Приймаємо для термообробки сирих обкотишів конвеєрні обпалювальні машини. Визначаємо питоме виробництво обпалювальних машин з таблиць.

Виходячи з даних таблиць отримуємо питоме виробництво обпалювальної машини:

$$q = 0,859165 \text{ т/м}^2 \cdot \text{година}$$

Виходячи з розрахованого питомого виробництва обчислимо сумарну площу термообробки :

$$S_{\Sigma} = \frac{P_0}{q} = \frac{887,8742}{0,859165} = 1033,4152 \text{ м}^2$$

Обираю обпалювальну машину типу ОК – 250/526 ( $S_m = 520 \text{ м}^2$ )

Обираючи тип обпалювальної машини, розраховується потрібна кількість для забезпечення заданого виробництва :

$$N_0 = \frac{S_{\Sigma}}{S_m} = \frac{1033,4152}{520} = 1,9873$$

Приймаємо 2 обпалювальні машини типу ОК – 250/526.

Обчислюємо погодинне виробництво обпалювальної машини:

$$P_m = 520 \cdot 0,859165 = 447 \text{ т / година}$$

2.6.6 Вибір і обчислення кількості огрудковувачів для отримання сирих обкотишів.

Кількість огрудковувачів для забезпечення по годинного виробництва однією машиною, обчислюємо:

Згідно обчислення шихти для отримання 991,5722 кг обкотишів витрачається 1152,1446 кг вологої шихти.

Коефіцієнт отримання 1 т обкотишів із вологої шихти складає:

$$K = \frac{991,5722}{1152,1446} = 0,8606$$

Кількість огрудковувачів (за по часовим виробництвом):

$$n_{ok} = \frac{P_m}{K \cdot P_{ok}} = \frac{447}{0,8606 \cdot 100} = \frac{447}{86,06} = 5,19$$

Приймаємо 6 огрудковувачів на одну обпалювальну машину.

Загальна кількість огрудковувачів в цехі:

$$n_{\Sigma_{ok}} = N_0 \cdot n_{ok} = 1,9873 \cdot 5,19 = 10,3141$$

Приймаємо 12 огрудковувачів .

Загальні дані проекту цеха річного виробництва

7 млн.т. готових обкотишів

Таблиця 2.10

Витрати компонентів шихти

Компоненти шихти	Питомі витрати, кг/т	По годинні витрати, т/год	Добові витрати, т/доб.	Річні витрати, т/рік
Залізорудний концентрат	1020,2871	905,8866	21741,2784	7142009,54
Вапняк	33,7155	29,9351	718,4424	236008,384
Доломитизирований вапняк	78,9728	70,1179	1682,8296	552809,536
Коксовий дрібязок	6,3045	5,5976	134,3424	44131,474
Антрацитовий штиб	4,0683	3,6121	86,6904	28477,794
Бентонітова глина	8,7964	7,8101	187,4424	61574,824

Всього шихти	1152,1446	1022,9594	24551,0256	8065011 1
--------------	-----------	-----------	------------	--------------

Таблиця 2.11

## Головне технологічне обладнання

Найменування обладнання	Кількість, шт	Тип	Виробництво, т/година
Витратні бункера концентрату	20	200м <sup>3</sup>	-
Витратні бункера вапняка	2	200м <sup>3</sup>	-
Витратні бункера доломитиз. вапняка	4	200м <sup>3</sup>	-
Витратні бункера коксового дрібязку	2	200м <sup>3</sup>	-
Витратні бункера антрацитового штибу	2	200м <sup>3</sup>	-
Витратні бункера бентоніта	2	200м <sup>3</sup>	-
Шарові млини для флюса	4	ШБМ 3700/850	40-50
Шарові млини для твердого палива	2	ШБМ 3700/850	40-50
Шарові млини для бентоніта	2	ШБМ 3700/850	40-50
Барабані огрудковувачі	12	Ø7,5	100-1200
Обпалювальні машини	2	ОК-250/526	447

Таблиця 2.12

## Проектний хімічний склад обкотишів

Вміст компонентів, %									
Fe <sub>общ</sub>	S <sub>общ</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
60,9799	0,0731	7,2612	79,0353	6,4388	0,3679	5,3654	0,7606	0,0529	0,0448

Содержание компонентов, %				Основність, д.ед		
SO <sub>3</sub>	Інші	ППП	∑оксидів	$\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$	$\frac{CaO + MgO}{SiO_2}$	$\frac{CaO}{SiO_2}$
0,1729	0,2424	0,2106	100,00	0,9	0,95	0,83

таблиці. 2.12

Таблиця 2.13

## Виробництво готової продукції

Продукція	По годинне виробництво, т/год	Добове виробництво, т/доб.	Річне виробництво, т/рік
Обкотиші	887,8742	21308,9808	7000000

### 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

## ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОРУДНИХ ОБКОТИШІВ

Аналізуючи напрямок енерго- і ресурсозбереження в технологічних процесах поряд зі створенням нових, принципово нових і вдосконалених технологій, що забезпечують зниження енерговитрат і матеріальних ресурсів, важливим є використання техногенних відходів.

Проблема техногенних відходів мало вивчена незважаючи на те, що кожний технологічний процес має відходи, які можуть бути використані для інших процесів. Тому утилізація техногенних відходів є засобом підвищення ефективності виробництва й заощаджень ресурсів.

Висока ресурсоемність металургії не є тільки наслідком матеріалоемності виробництва, а є результатом недосконалості технологічних процесів і низької якості продукції на всіх стадіях переділу, починаючи від видобутку й збагачення залізних руд і закінчуючи виробництвом прокату. Досить сказати, що при збагаченні залізних руд губиться до 25 – 30 % заліза; вміст дріб'язку (фракція менш 5 мм) у товарних обкотишах становить 5 – 6 %, у той час як у закордонних аналогах ці показники становлять відповідно 10 – 15 % заліза й близько 3,5% дріб'язку. Крім фактичних втрат сировини, пов'язаних з пилевиносом, підвищений вміст дрібних фракцій у залізорудній частині шихти доменних печей супроводжується перевитратою коксу 0,2 % на кожний відсоток збільшення фракції менше 5 мм. Резерв економії енергоресурсів у металургійній галузі України оцінюється величиною близько 30 %. Це вимагає розробки теоретико-методичної основи для підвищення ефективності виробництва залізорудних обкотишів шляхом створення й впровадження нових технологій, що забезпечують зниження енерговитрат на виробництво залізорудної сировини й поліпшення його якості.

Розв'язок поставленої проблеми здійснений в дипломній роботі шляхом утилізації відходів збагачення залізних руд і металургійного виробництва; удосконалення технології спікання обкотишів комбінованим паливом.

Предметом дослідження є методи й способи ресурсозбереження при виробництві залізорудних обкотишів.



Для досягнення поставленої мети були використані методи математичного й фізичного моделювання, фундаментальні положення законів масо- і теплообміну, газо- і гідродинаміки. Фізико-хімічні процеси, що протікають у суміші шихтових матеріалів, досліджували методом диференційно-термічного аналізу. Визначення основних технологічних параметрів спікання обкотишів здійснене на експериментальних установках фабрики огрудкування Центрального ГЗК

Новизна, яка виноситься на захист полягає в тому, що подальший розвиток одержали наукові основи ресурсозбереження при виробництві залізородних обкотишів шляхом використання комбінованого палива.

У цей час більшість фабрик огрудкування використовують у якості теплоносія природний газ і рідке паливо. Однак, враховуючи перспективи розвитку енергетики, швидке виснаження запасів нафти й газу в порівнянні із запасами вугілля, слід визнати, що збільшення масштабів використання вугілля дозволить уникнути енергетичної кризи. До теперішнього часу обставини змінилися таким чином, що необхідність економії теплоти при виробництві обкотишів стала ще більш актуальною.

Можливі три основні напрямки використання твердого палива для випалу обкотишів: 1) шляхом їхньої газифікації повітрям або киснем з одержанням низько й середньокалорійного газу; 2) безпосереднім спалюванням пилоподібного палива в спеціальних виносних топках з одержанням високотемпературних димових газів, а також при спалюванні його в пальниках трубчастих обертових печей; 3) шляхом добавки твердого палива в шихту для огрудкування.

Якщо ефективність застосування пиловугільного палива для зниження витрати коксу при виплавці чавуну не викликає сумніву, то заміна природного газу при огрудкуванні сировини енергетичними вугіллями недостатньо обґрунтована.

Асортименти викопних вугілля родовищ України характеризується широким спектром фізичних і теплотехнічних властивостей. Кам'яні й бурі вугілля містять підвищену кількість сірки й золи. Вугілля, що містить більш 2,5 % сірки становить від 30 до 35 %.

За статистичними даними на аглофабриках України зараз витрачається в середньому 70 кг/т агломерату твердого палива, у тому числі співвідношення коксика й антрациту або худого вугілля 1:1. При цьому вміст золи в коксику змінюється в діапазоні 11,2 – 19,3 %, а в антрациті й вугіллі – від 15,1 до 22,9 %.

У середньому у вугіллі вміст золи більш, ніж на 3 % вище, ніж у коксика. Це значить, що заміна 1 кг коксика антрацитом приводить до збільшення вмісту порожньої породи в огрудкованому продукті на 0,2 кг або на 0,02 %. Враховуючи, що витрата його на 1 т чавуну становить 1,4 – 1,6 т, заміна коксика антрацитом при спіканні агломерату приводить до збільшення виходу шлаків на 0,3 кг/кг заміненого коксика. Крім цього знижується продуктивність агломераційних машин і погіршується якість агломерату. При добавці

агломераційних машин і погіршується якість агломерату. При добавці антрациту в шихту близько 10 кг/т окатишів вноситься 1,0 – 1,5 кг золи. Враховуючи, що в середньому витрата обкотишів на 1 т чавуну становить 0,35 т, вихід шлаків збільшується на 0,35 – 0,525 кг/кг антрациту. Співставляючи вартість природного газу й вугілля й враховуючи зниження питомої витрати теплоти при введенні антрациту в шихту, можна стверджувати, що застосування вугілля економічно вигідніше при спіканні обкотишів, ніж при спіканні агломерату.

Наявність сірки в коксіку близько 2 % і в антрациті 2,3 – 2,5 % приводить до того, що в агломераті вміст сірки перебуває в межах 0,034 – 0,07 % тобто трохи вище (на 0,01 – 0,02 %), ніж у вихідних рудах і концентратах: при цьому спостерігається деяка кореляційна залежність між вмістом сірки в агломераті й загальною питомою витратою твердого палива й часток у ньому антрациту. Однак, вплив заміни коксіка антрацитом на вміст сірки в агломераті й чавуні незначно й ним можна знехтувати. При цьому важливіше врахувати шкоду навколишньому середовищу, яка наноситься агломераційним виробництвом у результаті викидів в атмосферу оксидів сірки, азоту, окиси вуглецю й ціану.

В обкотишах вміст сірки становить 0,01 – 0,03 % при спіканні природним газом. При введенні в шихту антрациту в кількості 10 -15 кг/т вміст сірки в окатишах збільшується менш, ніж на 0,01 %, тому що її вноситься близько 80 % концентратом, менше 4 % вапняком і бентонітом, 8 – 12 % природним газом і вугіллям 3,5 – 4,5 %. На відміну від агломерації при спіканні окатишів у газах, що відходять в атмосферу, не виявлене СО і ціану, виявлені оксиди сірки й сліди оксидів азоту. Це так само підтверджує більшу ефективність застосування кам'яних вугіль для випалу обкотишів, але вугілля потрібно збагачувати глибше, ніж це робиться зараз.

Найбільш перспективним способом використання твердого палива при спіканні залізородних обкотишів є введення його в шихту для огрудкування. Подача палива в обкотиш може здійснюватися накочуванням на поверхню сформованої сирої гранули, розподілом палива рівномірно за обсягом обкотиша шляхом огрудкування рудовугільної шихти.

Виконаний значний обсяг досліджень по спіканню залізородних обкотишів з використанням твердого палива. Це зв'язане як з різноманіттям видів обкотишів, так і палива. Вивчені рудно-паливні обкотиші, отримані хіміко-каталітичним методом, двошарові обкотиші з різним вмістом вуглецю в зовнішньому й внутрішньому шарах і металізовані обкотиші. Зазначені способи виробництва обкотишів через складність технології промислового їх виробництва поширення не одержали.

Стимулом до використання твердого палива при виробництві звичайних доменних обкотишів, крім причин вище перерахованих, є усе більш значне залучення в процес огрудкування гематитових концентратів. Продуктивність випалювальних конвеєрних машин при цьому зменшується до 0,9 – 1,0 т/м<sup>2</sup>

год, а при офлюсуванні шихти (добавці вапняку) або у випадку наявності в шихті гідратів або карбонатів (лимониту й (або) сидериту) вона знижується до 0,6 - 0,7 т/м,<sup>2</sup> год.

У міру збільшення добавки вугілля до вмісту в шихті 1,3 – 1,5 % вуглецю зменшується окисненість обкотишів і виділяється теплота від окиснення магнетиту. При вмісті вуглецю більш 1,3 – 1,5 % відбувається відновлення оксидів заліза й при наявності нейтральної або слабовідновлюваної (до 2 % кисню) атмосфери, виходять магнетитові, вюститно-магнетитові або металізовані обкотиші.

Згідно з дослідженнями проведеним в інституті Механобрчермет добавка 0,6 – 0,8 % антрациту в шихту з концентратів ЦГЗК дозволяє збільшити продуктивність зони спікання на 20 – 25 % за рахунок підвищення середньої швидкості нагрівання на 55<sup>0</sup>С / хв. Для рівномірного розподілу вугілля за обсягом обкотиша запропоновано подрібнювати це з одним із шихтових компонентів. На дослідній фабриці ЦГЗК добавка 0,6 – 0,8 % антрациту в шихту огрудкування сприяла підвищенню продуктивності машини ОК – 1 – 18 на 14 – 15 %, зниженню витрати природного газу на 18 %. При проплавці обкотишів продуктивність доменної печі збільшилася на 1 %, витрата коксу поменшала на 1,68 % і винос колошникового пилу знизився на 6,7 %.

Промислові випробування технології виробництва залізородних окатишів із шихти ЦГОКа з добавкою твердого палива на випалювальних машинах ОК-108 показали, що введення в шихту меленого антрациту не погіршує процес огрудкування й не знижає якості сирих окатишів.

За кордоном дослідження з використання вугілля при виробництві обкотишів на випалювальних конвеєрних машинах проводить фірма Лургі. Випробування з використанням антрациту й коксика при спіканні обкотишів з гематитових руд, сумішей гематитових руд і магнетитових концентратів показали, що для кожної шихти існує гранична величина загального вмісту нелетучого вуглецю й летучих, вище якої продуктивність і якість окатишів різко знижуються. При витраті «вуглець нелетучий з летучими речовинами» - 1,4% питома продуктивність підвищується на 30%, а потім знижується внаслідок деформації обкотишів і злипання їх між собою. При цьому також знижується міцність обкотишів при стиску, що пояснюється утворенням скла.

Інша серія дослідів показала, що добавка 1-3% коксового дріб'язку надає обкотишам крупнопористу будову й підвищує їх відновлюваність.

У промислових умовах на конвеєрній машині в Ліберії при введенні в шихту 0,6% вугілля приріст продуктивності отриманий в 15% при незначному збільшенні температури обкотишів на вивантаженні.

Таким чином, введенням у шихту вугілля можна збільшити продуктивність конвеєрних випалювальних машин, причому ефект від цього виходить тим більше, чим більше тепла потрібно для спікання обкотишів, наприклад, при їх офлюсуванні.

Вплив добавки твердого палива на процес огрудкування й випалу обкотишів з магнетитових концентратів у лабораторних і напівпромислових умовах досліджували в інститутах Уралмеханобр, НИИМТ, УНЦ АН СРСР. Встановлено, що при спіканні обкотишів з основністю 1,25 з підвищенням вмісту вугілля в окатишах до 1,5% питома продуктивність установки збільшується на 2,2%. Подальше підвищення вмісту вугілля ( до 2%) веде до злипання обкотишів і втраті газопроникності. При цьому в окатишах створюється зональна структура: зовнішня окиснена оболонка й внутрішнє магнетитне ядро. Утворення такої структури є однією із причин зниження міцності обкотишів на стиск. Стираємість обкотишів практично залишається на одному рівні, а міцність на удар при відновленні збільшується. Температура на границі «шар-постіль» росте швидше й неоднорідність спікання по висоті шару зменшується.

При спіканні обкотишів із шихти з 2% коксика в нейтральній атмосфері при 1200<sup>0</sup>С виходять спечені обкотиші з вмістом закису заліза більше 50%, що мають міцність на стиск після відновлення в 8-10 раз більше, ніж окиснені обкотиші КачГОКа після аналогічної обробки. Напівпромислове випробування цієї технології здійснене на дослідній фабриці заводу «Сибелектросталь».

Розрахунковий аналіз показує, що використання твердого палива в шихті для виробництва обкотишів у кількості 0,75 % при роботі випалювальної машини без збільшення продуктивності дозволяє підняти температуру обкотишів на границі «шар – постіль» до 1200<sup>0</sup>С, а час витримки при температурі більш 1100<sup>0</sup>С і скоротити в 4, 5 рази в порівнянні зі звичайним спіканням, що обумовлює підвищення якості готових обкотишів. Економія природного газу при цьому становить більше 1 м<sup>3</sup>/т, а питома витрата теплоти природного газу скорочується на 35, 6 МДж/т додатних обкотишів.

У випадку збереження температури нижніх ділянок оброблюваного шару такою же, як і при звичайному режимі спіканні (1100<sup>0</sup>С ) добавка твердого палива приводить до збільшення продуктивності випалювальної машини на 11,2 %, при цьому економія природного газу становить 1,64 м<sup>3</sup>/т, а питома витрата тепла скорочується на 171,7 МДж/т. Питома витрата електроенергії зменшується при цьому на 2,6 кВтч/т додатних обкотишів.

Одним із способів використання твердого палива для виробництва обкотишів є накочування його на поверхню обкотишів. При цьому відбувається вирівнювання температури по висоті шару у випадку комбінованого обігріву .

При введенні в шихту твердого палива можливе одержання вюститно-магнетитових обкотишів. Такі обкотиші отримані при вмісті в шихті 2 % твердого палива при температурі 1200 – 1250<sup>0</sup>С и термічній обробці в нейтральній атмосфері, що є основною умовою їх одержання. Зміна температури й складу теплоносія дозволяє регулювати властивості вюститно-магнетитових обкотишів.

Використання твердого палива в шихті огрудкування, як додаткового внутрішарового джерела тепла, дозволяє зменшити, а в ряді випадків і запобігти зниженню продуктивності при переході на випуск офлюсованих обкотишів. По даним при введенні в шихту до 1,5% твердого палива

(антрациту або коксика) вміст закису заліза в готових обкотишах підвищується незначно зі збереженням на прийнятному рівні показників міцності на стиск готових обкотишів. Проведені напівпромислові й промислові випробування технології з використанням твердого палива на ЦГЗК навіть при більш низькому його вмісті ( до 1%) поряд з позитивними результатами показали більш значне, ніж по зниженню міцності на стиск обкотишів. При вмісті закису заліза в готових обкотишах 6 - 8%, міцність на стиск їх склала 140 - 150 кг/обкот., причому з підвищенням вмісту закису заліза показники міцності на стиск зменшуються, а стиранність їх знижується. Актуальним завданням у зв'язку з викладеним, є розробка режиму випалу, що забезпечує виробництво обкотишів з високими показниками міцності на стиск.

### 3.1. Промислові випробування технології виробництва обкотишів при заміні коксика відходами збагачення вугілля (аргіліт).

Проба аргіліта поставлена зі збагачувальної фабрики «Нагольчанська», що знаходиться в Луганській області і характеризувалася наступними показниками.

Таблиця 3.1 - Характеристика твердого палива

Тип твердого палива	Масова частка класів, %							
	+ 0 мм	+ 5 мм	+ 8 мм	+ 11 мм	+ 15 мм	+0 1 мм	+0 71 мм	- ,071 мм
Коксик поточному виробництві	9, 1	2 3,4	2 4,9	4 2,6	-	-	-	-
Коксик Баглейс ького КХЗ	1 8,9	2 4,3	2 9,8	2 7,0	-	-	-	-
Аргіліт	-	-	1 3,9	2 3,9	1 7,8	34, 7	1, 1	8 ,6

Таблиця 3.2 - Технічний аналіз твердого палива

	Масова частка класів, %
--	-------------------------

Тип твердого палива	Вологи	Сірки	Золи	Вуглецю
Коксик у поточному виробництві	14,5	1,60	22,7	73,9
Коксик Баглейського КХЗ	27,5	1,61	16,0	82,1
Аргіліт	5,5	1,29	29,5	70,0

З даних таблиці 3.2 випливає, що в аргіліті вміст води менше (на 9 – 22 %), а крупність його нижче (на 44,4 % по класу мінус 0,5 мм) у порівнянні з коксиками, що забезпечить зниження витрат на його підготовку. Вміст сірки в аргіліті нижче ніж в коксиках при подібних показниках по вмісту золи й вуглецю. При підтвердженні представлених даних по властивостях аргіліта й з обліком пропонованої більш низької його вартості останній може бути істотним фактором зниження собівартості вироблених на ЦГЗК обкотишів.

Оброблені результати проведених протягом чотирьох днів випробувань (з 23 по 27.08) уведення в шихту аргіліта (відходу збагачення вугілля) замість коксика. Фізико-хімічні характеристики компонентів шихти наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Фізико-хімічні характеристики вихідних компонентів шихти

Найменування показників	Періоди випробувань	
	Базовий (15 – 21.08)	Дослідний (23. - 27.08)
Концентрат, %:		
Масова частка води	9,87	9,8
Fe <sub>общ</sub>	66,56	66,26
SiO <sub>2</sub>	6,95	7,45
кл. - 0,071 мм	93,5	93,1
Вапняк, %:		
CaO	48,1	48,1
MgO	3,61	3,61
SiO <sub>2</sub>	2,8	2,8
Бентоніт:		
Набухаємість, раз	7,6	7,6

Тверде паливо Коксик, %		
Масова частка вологи	11,7	-
Вуглець	76,43	-
Зола	23,6	-
Сірка	1,353	-
Аргіліт, %:		
Масова частка вологи	-	16,1
Вуглець	-	57,5
Зола	-	42,28
Сірка	-	1,112

У базовому й дослідному періодах вміст вуглецю в шихті було практично однаковим (0,34 і 0,37 %), однак через більш високий вміст золи в аргіліті в порівнянні з коксиком (42,3 % проти 23,6 %) питома витрата аргіліта була 7,65 кг/т обкотишів, а коксика – 6,9 кг/т обкотишів. Гранулометричний склад і характеристики міцності сирих обкотишів з коксиком і аргілітом були практично однаковими (табл. 3.4).

Термообробку сирих обкотишів у базовому й дослідному періодах здійснювали при практично однакових режимах і продуктивності випалювальної машини (табл. 3.5). Показники міцності, вміст в них дріб'язку і хімічний склад у базовому й дослідному періодах були також однаковими (табл. 3.6).

Введення в шихту аргіліта не змінило технологічних параметрів одержання, термообробки й характеристик міцності обкотишів.

Опрацьовані основні положення технології з переходом на виробництво обкотишів підвищеної основності, 1,1 – 1,2.

Таблиця 3.4 - Показники якості сирих обкотишів

Найменування показників	Періоди випробувань	
	Базовий (15 – 21.08)	Дослідний (23. - 27.08)
Масова частка вологи, %	8,95	9,5
Міцність на удар, раз	3,5	3,6
Міцність на стиск, кг/обкот.		
Сирих	0,98	0,96
Сухих	4,1	4,1
Вміст класу, %		
+18 мм	7,66	8,7
-8 мм	6,4	7,2

Вихід придатного класу, % (+8 – 18 мм)	85,8	84,1
--	------	------

Таблиця 3.5 - Показники параметрів термообробки обкотишів

Найменування показників	Періоди випробувань	
	Базовий (15 – 21.08)	Дослідний (23. - 27.08)
Навантаження по сирим обкотишам, т/год	443,20	446,60
Кількість сирого відсівання, т/год	105,10	112,6
Годинна продуктивність випалювальної машини, т/год	292,60	297,10
КИО випалювальної машини	0,99	0,86

Продовження таблиці 3.5

Пит.витрата газу, нм <sup>3</sup> /т	8,70	10,2
Пит.витрата ел.енергії, кВт/год	23,90	24,2
Температурний режим, °С		
Сушка I	306,0	305,2
Сушка II	243,0	244,0
Підігріву	583,0	552,0
Спікання	1220,0	1220,0
В 14 в/к	339,0	343

Таблиця 3.6 - Характеристика обпалених обкотишів

Найменування показників	Періоди випробувань	
	Базовий (15 – 21.08)	Дослідний (23. - 27.08)



Міцність на стиск, кг/обкот	на	226	200
Міцність на удар, %	на	90,3	89,5
Міцність на стирання %	на	8,8	8,6
Вміст дріб'язку в обпалених обкотишах, %		4,1	4,1
Хімічний склад, %			
	Fe <sub>общ</sub>	64,31	63,95
	FeO	3,64	3,29
	CaO	0,72	0,81
	MgO	0,36	0,42
	SiO <sub>2</sub>	7,52	7,90
	S <sub>общ</sub>	0,010	0,009
	Основність	0,14	0,16
	д.од.		

Використання обкотишів підвищеної основності в доменному виробництві суттєво знижує витрату коксу й супроводжується підвищенням продуктивності доменних печей.

Оцінка металургійних властивостей обкотишів ЦГЗК, виконана в інституті Механобрчермет із залученням інституту Чорної Металургії (ІЧМ, м. Дніпропетровськ). Характеристика міцності й відновлення обкотишів після випробувань за ДСТ 19375-74 наведена в табл. 3.7

З наведених даних випливає, що підвищення основності поліпшує металургійні властивості обкотишів. При цьому введення вугілля в шихту огрудкування для обкотишів з одним і тим же ступенем офлюсування помітно поліпшує їхні металургійні властивості. Окатиші з вугіллям мають структуру агломерату, що створює передумови для збільшення вмісту їх у залізородній складовій доменній шихті, дозволяє збільшити загальний вміст заліза в ній, і як наслідок, підвищити техніко-економічні показники доменної плавки, виконані на металургійних заводах ім. Петровського, Запорізькому і Єнакіївському доменні плавки підтвердили більш високу металургійну цінність обкотишів з структурою агломерату, обпалених на ЦГЗК з використанням твердого палива. Зафіксоване підвищення продуктивності доменних печей на 0,62 – 1,34 %, зменшення витрати коксу на 0,26 – 1,67 % і зниження на 26 – 32 % виносу колошникового пилу.

Таблиця 3.7 - Металургійні властивості обкотишів

		Показники відновлення, %
--	--	--------------------------

Характеристика проби	Пористість заг. вих. обкотишів, %	Вміст кл. -0,5 мм	Вміст кл. + 5 мм	Ступінь відновлення
Обкотиші основністю 0,6 без вугілля	21,4	9,4	50,3	49,64
Обкотиші основністю 1,2 без вугілля	22,8	9,4	51,27	52,21
Обкотиші основністю 1,2 з 1 % вугілля	26,44	8,2	64,2	64,1

Якісні показники обкотишів ЦГЗК в цей час істотно поліпшені в порівнянні з обкотишами виробництва 80-х років, на яких виконувалися доменні плавки. Підтвердження шляхом використання обкотишів ЦГЗК більш високої металургійної цінності, курировання їх і аналіз результатів профільними організаціями металургії (ІЧМ) може стати істотним фактором у підвищенні конкурентноспроможності їх на ринку сировини.

### 3.2. Впровадження вдосконаленої ресурсозберігаючої технології виробництва обкотишів із твердим паливом Можливості використання альтернативних джерел тепла.

Із численних способів виробництва обкотишів особливе місце займають два способи – спосіб «Грейт-Кілл», при якому використовується рухлива решітка типу «Аліс-Чалмерс» і обертова трубчата піч, і спосіб «Лургі» - решітка, що також рухається.

Для повноти картини слід згадати й про інші способи: «Грінгоулд», де для зміцнення обкотишів застосовують цемент; спосіб «Маккі» - решітка, що рухається, а також «Макдоуелл – Велман; Хантингтан – Хеберлайн; Сефіс – комбашн хіт фаст» не знайшли застосування через виробничі труднощі. Ще менше поширення одержали способи, засновані на застосуванні автоклавів для гідратації.

Слід зазначити, що в цей час проводяться дослідження з удосконалення цих способів, причому до залізородного концентрату перед огрудкуванням і гідратацією додають відновник у вигляді твердого палива. Тим самим створюється можливість, наприклад у вагранках, за одну технологічну операцію одержати шляхом переплаву залізородних обкотишів ливарний чавун. А в доменній печі інтенсифікувати процеси відновлення в «резервній зоні» доменної печі. Розроблений раніше спосіб виробництва обкотишів у шахтних печах з низькою продуктивністю, складністю в керуванні й високою витратою теплоти не одержав широкого розвитку.

Питома витрата теплоти при виробництві обкотишів протягом останніх років безупинно знижувався. Якщо на перших установках питома витрата теплоти становила 1700 Мдж/т для гематитових обкотишів і 840 Мдж/т для магнетитових обкотишів, то в цей час він знизився відповідно до 920 і 380 Мдж/т.

Внаслідок виділення теплоти при окисненні магнетиту в гематит витрата теплоти при використанні магнетитового концентрату теоретично нижче на 468 Мдж/т, ніж при окисненому концентраті.

Спосіб виробництва обкотишів на установках «Лургі» був розроблений на основі способу спікання на агломашині. Схема газових потоків на перших випалювальних машинах була набагато простішою, ніж на сучасних установках.

Нові технічні розробки, до яких відносяться: двошарове завантаження обкотишів з роздільною сушкою кожного шару; переточна система із селективною подачею газів у технологічні зони; система опалення випалювальної машини з однією опалювальною зоною (зона спікання), рециркуляційна система газо-повітряних трактів забезпечують зниження питомої витрати палива в 1,9 – 2, 2 рази; зниження питомих газоповітряних викидів в атмосферу в 2,5 – 3, 0 рази; зниження втрат теплоти з газами, що відходять в 3,5 – 4,0 рази; зниження питомої витрати електроенергії на привід технологічних тягових установок і установок дуття в 1,2 – 1, 5 рази; зниження викидів в атмосферу  $\text{NO}_x$  в 3-4 рази.

До переваг установок – конвеєрних випалювальних машин відносяться: можливість переробки концентратів, що важко піддаються огрудкуванню, порівняно проста конструкція установки й високий ступінь використання тепла. Однак цей спосіб має й недоліки, основними з яких є більша споживча потужність ексгаустерів, велика витрата електроенергії.

У промислових умовах випробувана й здійснена реконструкція системи опалення випалювальних машин з метою заміни природного газу вугіллям, яка заздалегідь передбачає можливість роботи на газі, мазуті або твердому паливі. У принципі всі розповсюджені види палива придатні для виробництва обкотишів.

Заміна газу твердим паливом при виробництві обкотишів може бути здійснена такими способами: уведенням твердого палива в сирі обкотиші з добавкою в'язучих; застосуванням суміші мазуту із твердим паливом; газифікацією твердого палива; опаленням твердим паливом.

Розроблені системи для спільного спалювання твердого палива й мазуту. Помол вугілля здійснюється в млині із псевдоожиженим шаром, створюваним дрібними частками вугілля й високотемпературною водяною парою. При цьому ступінь помолу повинен досягати 100 % вмісту фракції – 44 мкм.

Таблиця 3.8 - Властивості різних видів палива

Види палив	Технічний аналіз				КДж /кг(м <sup>3</sup> )	Q
	W	A	V	S		
					1,84	4
					0	
					2,21	3
	2			1	6	
Мазут	-3			,0-2,0		4
Природний газ	1	-	-	<	6,86	
	-2	-	-	1	0	
Зріджений газ	-	-	-	<		5
	3	-	-	1	,439	
Генераторний газ	-4	8	5	<		3
	5	-11	-10	0,5	1,79	
Антрацит	-8	7	3	0	8	
Інші вугілля	8	-8	0-40	,8-2,0		2
Енергетичне вугілля	-10	1	1	0	9,28	
	8	2-15	0-40	,6-2,0	8	
Коксик	-10	9	1	1		2
Нафтовий кокс	5	-10	-2	,0-2,0	7,19	
	-6	3	8	0	6	
Буре вугілля	2	-4	5	,8-1,8		2
	-3	8	0-60	1	8,45	
Деревне вугілля	4	-10	2	,2-1,8	1	
	0-50	1	5-30	0		2
	2	5-20		,2-0,5	9,28	
	0-50			0	8	
				,5-0,8		1
					4,64	
					4	
					0,92	2
					0	

Опалення вугіллям на установках з обертовою трубчастою піччю відомо на прикладі печей цементних заводів. Для запобігання утворення настилу при виборі вугілля необхідно ретельно контролювати їхній склад і крапку плавлення золи. Результати промислових експериментів показали, що незважаючи на експлуатаційні проблеми, зв'язані з спалюванням вугілля,

вибір вугілля відповідного сорту дозволяє розв'язати проблему заміни природного газу твердим паливом.

Аналіз ходу розвитку в цій області показує, що тенденція переходу на опалення твердим паливом поки не дуже сильна.

Вирішальний переворот в області застосування вугілля відбудеться, очевидно, коли ціни на природний газ зростуть, коли виникнуть труднощі з постачанням газу або коли будуть введене обмеження на його споживання.

У зв'язку зі згаданими недоліками при безпосередньому спалюванні вугілля й перевагами застосування газового опалення останнім часом знову почали приділяти увагу питанню газифікації вугілля. Однак необхідні для цього капіталовкладення настільки великі, що при нормальній ринковій кон'юнктурі навряд вдасться знайти економічний спосіб газифікації вугілля, яке було б придатне для виробництва обкотишів.

Простим способом добавки деякої кількості твердого палива замість природного газу є присадка до концентрату ще перед огрудкуванням певної кількості коксика, кам'яного або деревного вугілля.

### 3.3. Промислові випробування й впровадження технології виробництва обкотишів з добавкою різних видів твердого палива в шихту на Центральному ГЗК.

Промислові випробування нової технології і її впровадження здійснене на випалювальній машині нового покоління ОК – 324/336 з випалювальним візком 4 м, з інжекційними пальниками в зонах спікання й пристроями для подачі газу знизу. Його спалювання в шарі здійснюється за допомогою газоповітрярозподільчих пристроїв (ГВРУ), змонтованих у дуттєвих камерах.

Перший пусковий комплекс із випалювальною машиною ОК-324/336 був уведений в експлуатацію в жовтні 1995 року.

У ході його освоєння відпрацьована технологія здрібнювання суміші бентоніту, вапняку й обпаленого повернення в знову введеному в експлуатацію кульовому вентильованому млину. Оптимізовані газоповітряні потоки в млині. Продуктивність млина доведена до 45- 47 т/год при крупності готового продукту 91-92 % класу – 0,071 мм (питома поверхня 455 – 480 м<sup>2</sup>/кг). Забезпечене очищення газоповітряної суміші від пилу до вимог ПДК (менш 80 мг/м<sup>3</sup>). Оскільки ефективність змішування шихти в проектних барабанних огрудкувачах (70 – 74 %) не відповідає вимогам технології одержання якісних сирих обкотишів (90 – 95 %) і в шихті після змішування втримується значна кількість великих класів, перед огрудкувачами встановлені дезінтегратори шихти. Випробування показали, що вони працюють ефективно. Однак конструктивні недоліки не дозволили експлуатувати дезінтегратори тривалий час. При їхній роботі вміст у сирих обкотишах необхідних класів крупності збільшилося на 8-11 %.

Поліпшені конструктивні характеристики окремих вузлів чашевих огрудкувачів діаметром 7,5 м (привод, очисні ножі, форсунки розпилення

води). Оптимізовані технологічні параметри роботи огрудкувачів: продуктивність 90 – 120 т/год, кут нахилу чаші 46- 48°C, частота обертання чаші 7,0 – 7,5 хв<sup>-1</sup>, кількість необхідного (8 – 18 мм) класу в сирих обкотишах 89 – 95 %, масова частка вологи в сирих обкотишах 8,9 – 9,3 %, міцність сирих обкотишів на стиск 9 – 14 Н/обкотиш, міцність на удар 5 – 11 раз.

Для поліпшення гранулометричного складу сирих обкотишів, що завантажуються на випалювальну машину, розроблений робочий проект установки роликового грохоту для попереднього відсівання великого (+18 мм) класу.

У процесі експлуатації випалювальної машини ОК-324/336 постійно удосконалювався розподіл технологічних зон горна й схеми газоповітряних потоків.

Вивчення параметрів роботи інжекційних горілок і вимір температури по довжині факела дозволили змінити конструкцію проектної горілки й зменшити ошлакування горільчастого каменю.

Вивчені газодинамічні й теплові параметри роботи проектних технологічних зон випалювальної машини. Визначено, що в зоні попереднього підсушування верхнього шару через більші втрати при реверсі теплоносія швидкість фільтарції його через шар становила всього 0,2 – 0,3 м/с, а ступінь видалення вологи з обкотишів верхнього шару був тільки 3 – 5 % отн. У зоні сушки I ступінь видалення вологи склала 35 – 39 %, а в зоні сушки II - 18 – 30 %. Таким чином, у зонах сушки видалається тільки 60 – 70 % відн. вологи із сирих обкотишів. Причина низької ефективності роботи зон сушки – недостатня температура (150 – 250°C) теплоносія.

Інструментальні виміри кількості й температури повітря й теплоносія, що перекачуються технологічними вентиляторами й димососами, дозволили розробити раціональну схему розподілу технологічних зон у горні й схему газоповітряних потоків випалювальної машини. Зона попереднього сушіння прососом теплоносія була переведена на продув знизу, що суттєво знизило кількість шкідливих підсосів. До високотемпературного димососа ДЗ було підключено дві вакуум-камери, які по проекту повинні були працювати на продув.

Збільшена площа зони охолодження I від вентилятора Д4а, що поставляє теплоносій в колектор прямого перетікання, шляхом передачі частини теплоносія із зони охолодження II. Це дозволило частину теплоносія направити з колектора прямого перетікання в зону сушки II і підвищити ефективність її роботи. Частина зайвого теплоносія, що відсмоктується з високотемпературних зон димососом ДЗ, спрямована на димосос Д1, що поліпшило роботу зони сушки, збільшеної за рахунок зони попередньої сушки.

Крім перерахованих великих змін здійснювалися й інші вдосконалення устаткування й технології, спрямовані на поліпшення техніко-економічних показників роботи I пускового комплексу.

У результаті виконання зазначених вище заходів суттєво поліпшені показники роботи огрудкувальної фабрики в порівнянні із проектними.

Відпрацьований у лабораторних умовах режим комбінованого спікання обкотишів був випробуваний, а потім впроваджений у виробництво на фабриці огрудкування ЦГЗК. Сутність технології полягає в тому, що в шихту вводиться тверде паливо, а шар обігрівается продуктами горіння природного газу. Промислові випробування технології проводилися в період із червня по листопад 2000 року, а в листопаді 2000 року фабрика огрудкування переведена на постійне використання твердого палива в шихті.

У якості основного базового порівняльного періоду прийнятий найкращий, з погляду техніко-економічних показників роботи випалювальної машини, період за весь час її експлуатації – червень 2000 р.

У базовий й дослідний періоди фізико-хімічні характеристики концентрату вапняку й бентоніту були практично однаковими (таблиця 3.9).

Вугілля характеризувалося значним коливанням властивостей. Так вміст вологи становив 8,6 %, зольність 20 – 22 %, а вміст вуглецю 74,0 – 76,0 %.

Здрібнювання вугілля проводилося разом із частиною вапняку в млині № 1. Для цього вапняк дозувався із самохідного бункера стрічковим живильником. Зі стаціонарного бункера на цей же конвеєр стрічковим

Таблиця 3.9 - Характеристика шихтових матеріалів

Шихтові матеріали й склад шихти	Періоди															
	Базовий								Дослідний I							
	F <sub>еобщ</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	0,071 мм	0,15 мм	F <sub>еобщ</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	0,071 мм	0,15 мм
Концентрат	5,82		7,9			2,0		5,5					3,8	0,8		0,04
Вапняк		0,45	2,45	0,2				6,2			0,57		2,27			
Бентоніт		0,31	5,41	0,1				7,0			0,81		7,0		6,0	
Суміш: вапняк з бентонітом		3,9	8,55	0,4		9,8		5,3			0,69		7,99		9,9	
Суміш: вапняк з коксиком								3,8			0,2		7,0		5,7	
Склад	8,9	0,4	8,6	0,2		9,8		9,1			0,75		8,8		9,7	0,4



Ш ихти																		
Ш ихтові матеріа ли й склад шихти	Періоди																	
	Базовий									Дослідний I								
	F e <sub>общ</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	0.071 мм	CaO	SiO <sub>2</sub>	F e <sub>общ</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	0.071 мм	CaO	SiO <sub>2</sub>
К онцент рат	5,7			,34			0,9		0,0	5,86					,04		1,6	0,2
В апняк		4,05	,84	,0	1,89					6,3	,2	,5	2,5		-		-	-
Б ентоніт		,2	,28	3,1	,48			7,6		,37	,09	9,1	,46				0,1	
С уміш: вапняк з бентоні том		2,1	,5	,0	7,6	9,9				4,5	,6	,5	8,1	9,9				
С уміш: вапняк з коксик ом		4,4	,84	,8	9,24	7,9	5,2			3,9	,66	,9	6,56	7,7				9
С клад	7,6	,1	,01	,2			,558	,95	7,8	,4	,83	,8					,9	,48



живильником дозувалося вугілля. Співвідношення мас вапняку й вугілля було 1:1. Маса дозованого вапняку й коксика визначалася ручним провішуванням з 1 погонного метра стрічки.

Здрібнена суміш вапняку й вугілля містила 81,7 – 96,4 % фракції менше 0,071 мм і 35 – 39 % вуглецю. Суміш дозувалася в шихту автоматичними дозаторами ДН-8 у кількості 1 % від маси концентрату. Продуктивність млина при здрібнюванні суміші вапняку й вугілля склала  $15 \pm 3$  т/год. Інша частина вапняку, необхідна для офлюсування обкотишів, подрібнювалася разом з бентонітом. У різні періоди випробувань проведені різні варіанти здрібнювання коксика з компонентами шихти (вапняком, бентонітом і поверненням) у млинах № 3, 4, 7, 8.

Середній склад шихти відповідав заданим показникам, однак коливання основності (0,2 – 1,74 долей одиниць) і вміст вуглецю (0,14 – 2,3 %) були дуже істотними. Ці коливання визначені недосконалістю дозуючого устаткування й значним коливанням хімічного складу компонентів шихти (концентрату, вапняку й вугілля). Режими роботи чашевих огрудкувачів у базових і дослідних періодах були практично однакові. Продуктивність огрудкувачів коливалася в межах 70 – 110 т/год. Гранулометричний склад сирих обкотишів і їх характеристики міцності в базових і дослідних періодах були однаковими (таблиця 3.10). Уведення в шихту тонкоподрібненого вугілля (0,5 – 1 %) не позначилося на технологічних параметрах одержання сирих обкотишів.

Таблиця 3.10 - Характеристика сирих обкотишів

Періоди	Масова частка вологи, %	Міцність		Вміст класів, %		
		Скидання, раз	Опір стиску, кг/обкот	+18 мм	-18 мм	- мм
Базовий	10,20	4,2	1,1	10,1	83,8	6,0
Дослідний I	10,05	4,9	1,15	14,3	82,3	6,0
Дослідний I	10,15	4,0	1,0	14,8	82,0	6,4
Дослідний III	10,20	4,20	1,10	12,0 4	82,0 3	6,0

Режими термообробки обкотишів і параметри роботи випалювальної машини в базовому й дослідному періодах наведено в таблиці 3.11.

Уведення в шихту твердого палива дозволило збільшити швидкість руху випалювальних візків з 1,8 – 2,0 до 1,9 – 2,2 м/хв, при одночасному підвищенні температури у вакуум камері № 15 з 280-350°C до 340-360°C.

Додаткова кількість тепла, що виділяється за рахунок згоряння в обкотишах твердого палива й нагрівання повітря в зоні охолодження, дозволило знизити загальну витрату газу, споживану випалювальною машиною, з 3960-4360 м<sup>3</sup>/годину до 3470-3710 м<sup>3</sup>/година. Зросла температура теплоносія в переточному колекторі з 860-870°C до 900-930°C

.

Таблиця 3.11 - Параметри роботи випалювальної машини

Параметри роботи випалювальної машини	Базовий період	Дослідний період
Загальні показники		
Кількість сирих обкотишів зі складального конвеєра, т/год	400-440	430-500
Кількість повернення після роликового грохоту, т/год	60-80	50-70
Кількість сирих обкотишів, що укладаються на машину, т/год	340-360	360-380
Висота шару обкотишів, мм	460-480	460-480
Висота постелі, мм	100	100
Швидкість машини, м/хв.	1,8-2,0	1,9-2,2
Кількість обпаленого повернення, т/год	20-30	15-20
Питома витрата газу, м <sup>3</sup> /год	15,3-16,8	12,3-13,1
Температурно-вакуумний режим по зонах		
Зона сушки I:		
Тиск під шаром, мм у ст.	500-600	500-600
Температура теплоносія під шаром, °С	230-290	300-500
Зона сушки II :		
Розрідження над шаром, мм в. ст.	15-25	15-25
Розрідження під шаром, мм в.ст.	400-450	450-480
Температура в горні, °С	200-220	220-230
Зона підігріву:		
Розрідження над шаром, мм в. ст.	5-10	
Температура в горні, °С	500-700	
Зона спікання:		
Розрідження над шаром, мм в.ст.	2-6	
Температура по пальниках, °С		

1	870- 990	850 -950
2	1050 -1150	100 -1100
3	1150 -1250	115 -1200
4	1200 -1270	117 -1270
5	1220 -1250	120 -1240
6	1220 -1250	120 -1240
7	1150 -1200	113 -1170
Температура по вакуум камерам і камерам дуття, °C		
2	230- 290	300 -340
10	150- 180	120 -140
12	180- 200	160 -180
13	200- 250	180 -220
14	270- 340	310 -350
15	280- 350	340 -360
16	110- 130	350 -400

У дослідних періодах знизилася кількість обпаленого повернення з 20-30 т/годину до 15-20 т/годину. При цьому годинна продуктивність випалювальної машини зросла з 258,6 т/год до 281 т/год, питома витрата газу на спікання обкотишів знизився з 16,8 м<sup>3</sup>/т до 12,3-13,1 м<sup>3</sup>/т, а питома витрата електроенергії – з 32,3-37,1 квт год/т до 29,3 – 33,8 квт година/т обкотишів (таблиця 3.12). Властивості міцності обпалених обкотишів і вміст дріб'язку в готовій продукції не змінилися. Слід зазначити, підвищення вмісту монооксиду заліза з 1,4 % до 3,67 – 4,11 %. Деяке зниження міцності пов'язане зі збільшенням пористості обпалених обкотишів.

З наведених результатів випливає, що при роботі на обкотишах, що містять тверде паливо зросла температура в переточному колекторі на 40-70°C. Це є результатом окиснення магнетиту в зоні охолодження. Виконаний розрахунок впливу витрати природного газу на температуру продуктів горіння, що входять у зону спікання показує, що збільшення

витрати природного газу на кожні 100 м<sup>3</sup>/год підвищує температуру димових газів на 18,8 – 21,2 °С, що знижує витрату природного газу на 212 м<sup>3</sup>/год – 372 м<sup>3</sup>/год. Стосовно отриманого зниження витрати природного газу це становить 65,2%, решта кількості природного газу компенсується кількістю теплоти, що виділилася при окисненні вуглецю обкотишів киснем теплоносія.

Отримані результати підтверджують справедливість нової теорії, що пояснює економію природного газу при спіканні обкотишів, отриманих із шихт із добавкою твердого палива.

Зниження питомої витрати природного газу пояснюється також підвищенням продуктивності випалювальної машини. Це збільшення склало 8,66 %. Відповідно знизилася питома витрата електроенергії на 10 %. Відзначимо збіг теоретичних висновків, лабораторних результатів, промислових випробувань і впровадження вдосконаленої технології спікання обкотишів отриманих із шихт із добавкою твердого палива.

Таблиця 3.12 - Характеристика обпалених обкотишів

П еріоди	Хімічний склад					
	Fe <sub>общ</sub>	Fe	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	S
Ба зовий	59,8	1,4	5,7	0,75	7,6	
Д ослідни й I	60,44	3,93	5,24	0,80	7,9 6	0,0 4
Д ослідни й II	59,8	4,11	5,43	1,03	8,3 1	0,0 8
Д ослідни й III	59,9	3,67	5,5	0,84	7,9	0,0 7

Продовження таблиці 2.12

П еріоди	О сновніс ть, од.	В міст дріб'я зку, 5 мм, %	О пір стиск у, кг/об кот	Міцність у барабані, %		род укт ивн ість ма
				+	-	
				5 мм	0,5 мм	

						ши ни, т/го д
Ба зовий	0, 80	5 ,6	2 27	9 1,1	8 ,0	58, 6
Д ослідни й I	0, 74	5 ,2	2 13	8 7,9	1 0,5	81, 6
Д ослідни й II	0, 78	5 ,1	2 10	8 9,6	9 ,30	79, 4
Д ослідни й III	0, 80	5 ,3	2 17	8 8,6	1 0,1	72, 0

#### 3.4. Вплив добавок антрациту в шихті на запиленість газопотоків при спіканні обкотишів.

На прикладі спікання агломерату з обкотишів показана можливість значного зменшення викидів в атмосферу монооксиду вуглецю. Об'єднання позитивних властивостей технологій спікання агломерату й спікання обкотишів дозволяє вважати таку гібридну технологію перспективною. Але якщо кількість і склад шкідливих викидів при виробництві агломерату й спіканні обкотишів газом вивчені, то при спіканні обкотишів із шихти, що містить тверде паливо, відомо тільки відсутність недопалу в газах, що відходять, навіть при введенні в шихту газового вугілля. Тому в наших дослідженнях вивчений вплив добавки в шихту антрациту на запиленість газів, що відходять, при спіканні обкотишів.

На ЦГЗК випробувано три шихти, що включають магнетитовий концентрат, вапняк, бентоніт і антрацит. Проводилися обкотиші основністю 0,65 при різному вмісті антрациту – 0; 1,0 і 1,5 %. Антрацит дозувався до вапняку і їх суміш тонко подрібнювалася при повному висушуванні матеріалу. У зв'язку з тим, що коливання вологості, гранулометричного й хімічного складу компонентів шихти були у звичайних межах освоєної технології, істотних особливостей у міцності й крупності сирих обкотишів з різним вмістом антрациту не спостерігалось. Спікання обкотишів здійснювався на конвеєрній машині ОК – 1 – 324/336 зі зменшенням температури й витрати природного газу над шаром обкотишів у зоні спікання ВІІ відповідно до добавки вугілля в шихту. Параметри спікання обкотишів – тиск і температура в горні й вакуум-камерах підтримувалися приблизно у



звичайних технологічних нормах. Тривалість роботи машини на кожному з видів шихти становить 5-6 діб. Перехідні періоди тривали 20-24 год.

Запиленість газів до газоочистних апаратів і після них змінювалася відповідно до загальновідомої методики: вимірювали температуру й швидкість газу в рівновеликих по площі кільцях трубопроводів у двох перпендикулярних діаметрах. Потім відсмоктували через алонж, заповнений скловатою, визначену кількість газу зі швидкістю, відповідною до швидкості його в даному кільці газопроводу. Результати випробувань представлено в таблицях 3.13 і 3.14.

Поліпшення процесу спікання обкотишів уведенням у шихту антрациту приводить до підвищення продуктивності випалювальної машини, зниженню питомої витрати природного газу й зменшенню запиленості газопотоків випалювальної машини (таблиця 3.14).

При добавках у шихту твердого палива вноситься незначна кількість сірки (близько 0,16 кг/т обпаленого продукту), яка згоряє одночасно із сіркою, внесеною залізородним концентратом, і продукти горіння видаляються з газом.

При роботі випалювальної машини на обкотишах з добавкою твердого палива в шихту отримані наступні результати по складу газів:

Питома витрата газів, м <sup>3</sup> /т	Хімічний склад газів			
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Зона сушки I	6,8	4,1	76,1	16,8
Зона сушки II і спікання	1,9	3,2	73,1	17,0
SO <sub>2</sub> – 230 мг/м <sup>3</sup> ; SO <sub>3</sub> – 30,9 мг/м <sup>3</sup> ; NO + NO <sub>2</sub> – 90 мг/м <sup>3</sup> ; Хлориди – 40 мг/м <sup>3</sup> ; Запиленість газів – 100 мг/м <sup>3</sup>				

Таким чином, розроблена вдосконалена технологія спікання залізородних обкотишів із шихт із добавкою 0,6 – 1,0 % вуглецю по складу газів, що відходять, перебуває між агломерацією й окисним спіканням обкотишів. Запиленість газів, що відходять, при спіканні обкотишів за новою технологією не перевищує аналогічну при окисному спіканні, а вміст монооксиду вуглецю на порядок нижче, ніж при агломерації.

Таблиця 3.13 - Показники спікання обкотишів на машині ОК-324/336

Ц

Параметри режиму	Вміст антрациту в шихті, %
------------------	----------------------------

Продуктивність по сирим обкотишам, т/год	255,0	257,0	260,0
Відсівання сирих обкотишів після укладчика, т/год	30,3	31	30,5
Висота шару сирих обкотишів, мм	400	400	400
Витрата, м3/год: Природного газу	3600	3450	3380
Повітря	4200	4180	4150
Температура під пальниками, °С			
1-2	850	850	850
3-4	1100- 1150	1100- 1150	1100- 1150

Продовження таблиці 2.13

5-6	1200- 1250	1200- 1250	1200- 1250
7-8	1200- 1250	1200- 1250	1200- 1250
9-10	1250- 1270	1200- 1210	1150- 1200
11-12	1240- 1260	1100- 1150	1030- 1060
13-14	1100- 1150	1030- 1040	100- 1030
Температура в зонах, °С			
Сушка 2	150- 200	150- 200	150- 200
Підігрів	350- 400	350- 400	350- 400
Охолодження 2	200- 250	200- 220	180- 200
Спікання 2			
Тиск, мм. вод. ст.	5-10	5-10	5-10
Температура, °С	860- 890	850- 880	850- 860

Таблиця 3.14 - Запиленість (мг/м<sup>3</sup>) газопотоків випалювальної машини ОК-324/336

Технологічна зона (номера) вакуум-дугтевих камер	Вміст антрациту в шихті, %					
	0,0		1,0		1,5	
	*	*				
Сушка I (викид в атмосферу) № 1 – 4	00	5	30	5	60	0
Сушка II, підігрів та спікання № 5 – 10 (викид в атмосферу)	50	0	20	0	00	5
Спікання і рекуперація, № 11 – 14	80-200	0-100	60-170	0-80	50-180	0-80
Охолодження II (повітря на пальники горна), № 20 - 27	50-170	0-100	50-160	0-100	30-150	0-80

\*1,2 – відповідно до й після газоочистних апаратів.

Таблиця 3.15 - Порівняльні дані по складу газів, що відходять, при огрудкуванні залізородних матеріалів

Спосіб огрудкування	Хімічний склад газу, %			
	C	C	O	N
	2	O	2	2
Агломерація	1	2	1	7
Обкотиші окиснені	7,7-23,9	,8-5,2	,2-6,9	8,3
Обкотиші із шихти з вуглецем	4	0	1	7
	,9-2,6	,25-0,50	6,1-18,4	9,0
				7
				1,0

	3		1	
	,0- 13,0		6,0- 8,0	

### 3.5. Фізико-хімічна модель спікання залізородних обкотишів із шихт із добавкою твердого палива.

Тверде паливо в складі обкотишів виконує дві функції: енергоносія для виділення теплоти й створення необхідних температурних умов для термічної обробки обкотишів (внутрішнє джерело теплоти) і як компонент шихти, необхідний для протікання фізико-хімічних процесів в окремому обкотиші й оброблюваному шарі. Тому вибір палива визначається сукупністю багатьох факторів.

Основним твердим паливом, застосовуваним у шихтах для огрудкування залізородних матеріалів є викопні вугілля (кам'яні й антрацит) і кокс. Вихід летучих у цих вугілля коливається від 9,0 до 45 %, а в антрациті менш 9 %.

Подача твердого палива залежить від його призначення. При використанні палива як компонента шихти для виробництва обкотишів воно зазнає сушіння, дроблення й сортування. Потім паливо системою конвеєрів подають у приймальні бункери, з яких роблять дозовану подачу його в змішувачі або піддають спільному здрібнюванню з вапняком для запобігання samozapalювання.

Процес горіння твердого палива являє собою комплекс складних фізико-хімічних явищ: теплообмін часток з навколишнім середовищем, вихід і горіння летучих ( $\text{CH}_4$ ;  $\text{H}_2$ ;  $\text{C}$  і т.д.), горіння коксового залишку. У більшості випадків для реальних паливних часток прогрів і горіння летучих - занадто швидкі процеси й становлять за часом не більш 10% у порівнянні із часом горіння коксового залишку, що дозволяє зневажати ними в розрахунках часу горіння твердих часток палива.

Кінетиці горіння твердих паливних часток і, зокрема, коксового залишку присвячене значне число робіт. Основою розрахунків часу горіння коксового залишку частки твердого палива є рівняння балансу маси, яке може бути записане у вигляді швидкості зменшення діаметра сферичної частки:

$$\frac{d\delta}{d\tau} = -\frac{2\mu_c}{\rho_p} G_c \quad (3.1)$$

де  $\delta$  – діаметр сферичної частки, м;

$\mu_c$  – 12 кг/кмоль – молекулярна маса вуглецю;

$\rho_p$  – щільність частки, кг/м<sup>3</sup>;

$G_c$  – швидкість вигорання вуглецю, до моль/м<sup>2</sup>с.

Час горіння частки  $\tau$  від початкового діаметра  $\delta_0$  до поточного розміру  $\delta$  знаходиться з виразу інтегруванням:

$$\tau = -\frac{1}{2\mu_c} \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{\rho_p}{G_c} d\delta \quad (3.2)$$

Таким чином, завдання зводиться до знаходження швидкості вигорання вуглецю  $G_c$ , яке визначається хімічною кінетикою реакції горіння вуглецю в окисному середовищі навколишнього газу. Процес цей визначається швидкостями протікання цілого комплексу мікро- і макроскопічних процесів. Існуюча загальноприйнята модель, що пояснює економію природного газу при спіканні рудовугільних обкотишів, включає теплоту, що виділяється при горінні твердого палива в шарі шихти. Очевидно, що поряд із цим процесом при спіканні рудовугільних обкотишів у шарі відбуваються окисно-відновні процеси. Для обкотишів з магнетитового й гематитового концентратів вони одержують різний ступінь розвитку, який залежить також від положення обкотишів у шарі й реакційної здатності палива. Розвиток цих реакцій суттєво відрізняється на поверхні в центрі обкотиша.

При горінні твердого палива в шарі обкотишів процеси, що відбуваються, розташовуються в такій послідовності (мал. 3.1): а) транспорт реакційного газу ( $CO_2$ ) через турбулентний потік до ламінарної границі шару; дифузія кисню через ламінарну границю шару до зовнішньої поверхні твердого матеріалу; хімічні перетворення між газом і твердим матеріалом на його поверхні; видалення газоподібних продуктів відновлення з поверхні твердого тіла через ламінарну границю шару; видалення продуктів реакції через турбулентну зону. На поверхні коксика вуглець окиснюється до  $CO_2$  ( $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 393,77 \text{ кДж}$ ) (мал. 3.2). При цьому шар коксика нагрівається до температур вище  $1000^\circ C$ , а утворившийся діоксид вуглецю реагує при цих високих температурах з вуглецем і утворюється монооксид вуглецю ( $CO_2 + C = 2CO - 172,58 \text{ кДж}$ ). У результаті встановлюється рівновага, відома як рівновага Будуара. При  $1300^\circ C$  утворюється повністю монооксид вуглецю. Монооксид вуглецю дифундує через ламінарну границю шару, зустрічає кисень, що дифундує в протилежному напрямку (мал. 3.2); утворюється фронт горіння ( $CO + 0,5O_2 = CO_2 + 238,19 \text{ кДж}$ ). Частина, що утворилася при цьому  $CO_2$  служить для подальшої газифікації твердого вуглецю, а частина дифундує через ламінарну границю й турбулентну область у газ, що відходить. На мал. 3 показана зміна концентрацій ( $CO$ ;  $CO_2$ ;  $O_2$ ) і зміну температур у ламінарній області.

Монооксид вуглецю, що перебуває навколо тонкодисперсних часточок твердого палива, які розташовані усередині обкотиша, відновлює зерна гематиту до магнетиту. Цей процес представлений на мал. 3.3, де різні види твердого палива в суміші з гематитовим концентратом нагрівалися в нейтральній атмосфері ( $C/Fe = 0,018$ , витрата азоту – 50 л/ч). З наведених даних випливає, що утворення магнетиту при зазначених вище умовах починається при  $750^\circ C$ .

Швидкість утворення магнетиту вище при використанні вугілля з високим вмістом летучих речовин. Максимальна кількість магнетиту (60%) утворюється при температурі  $1050^\circ C$ . Для обкотишів з коксом максимальна кількість магнетиту (55%) досягається при  $1100^\circ C$ . Витримка обкотишів з коксиком при температурі  $1100^\circ C$  протягом однієї години сприяла збільшенню вмісту магнетиту до 70%, а в обкотишах з вугіллям з високим вмістом летучих

вміст магнетиту не змінився. При спіканні в окисній атмосфері відбуваються процеси повторного окиснення.

Беручи до уваги процеси, що відбуваються в рудовугільних обкотишах при термічній обробці, їх послідовність у шарі на конвеєрній випалювальній машині може бути описана фізико-хімічними моделями для обкотишів з гематитового й магнетитового концентратів (табл. 3.16, 3.17).

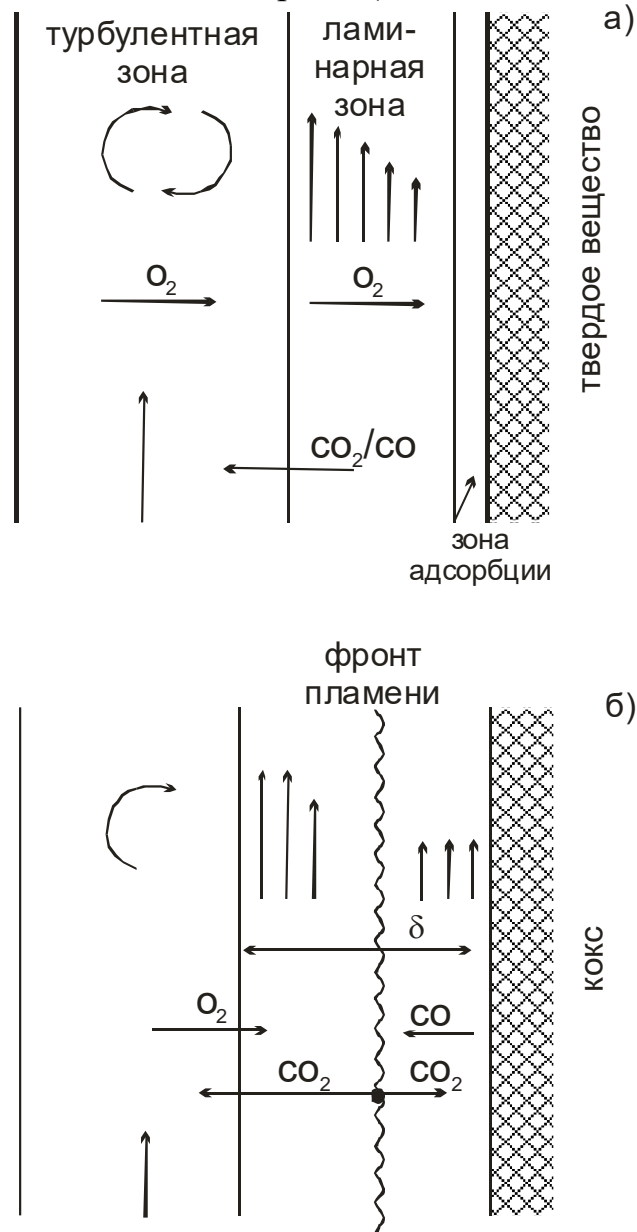


Рисунок 3.1 - Схема спікання обкотиша, що містить тверде паливо.

а – транспорт реакційного газу до поверхні твердих часток;

б – окиснення вуглецю на поверхні коксу

З наведених моделей випливає, що при добавках твердого палива в шихту як для гематитових, так і магнетитових обкотишів розвиваються окисно-відновні процеси. Ступінь їх розвитку залежить від вмісту вуглецю в шихті, положення обкотиша по висоті шару й відстані по перетину обкотиша. На поверхні обкотиша на всій висоті шару відбувається горіння вуглецю в струмені окисного теплоносія як у гематитових, так і магнетитових

обкотишах. У магнетитових обкотишах крім горіння палива на поверхні окиснюється магнетит. Оскільки концентрація CO усередині обкотиша невелика, відновлення  $Fe_3O_4$  не відбувається.

Для гематитових обкотишів досить незначної концентрації CO для відновлення  $Fe_2O_3$  до  $Fe_3O_4$ . У центрі обкотиша ці процеси розвиваються в більшій мірі.

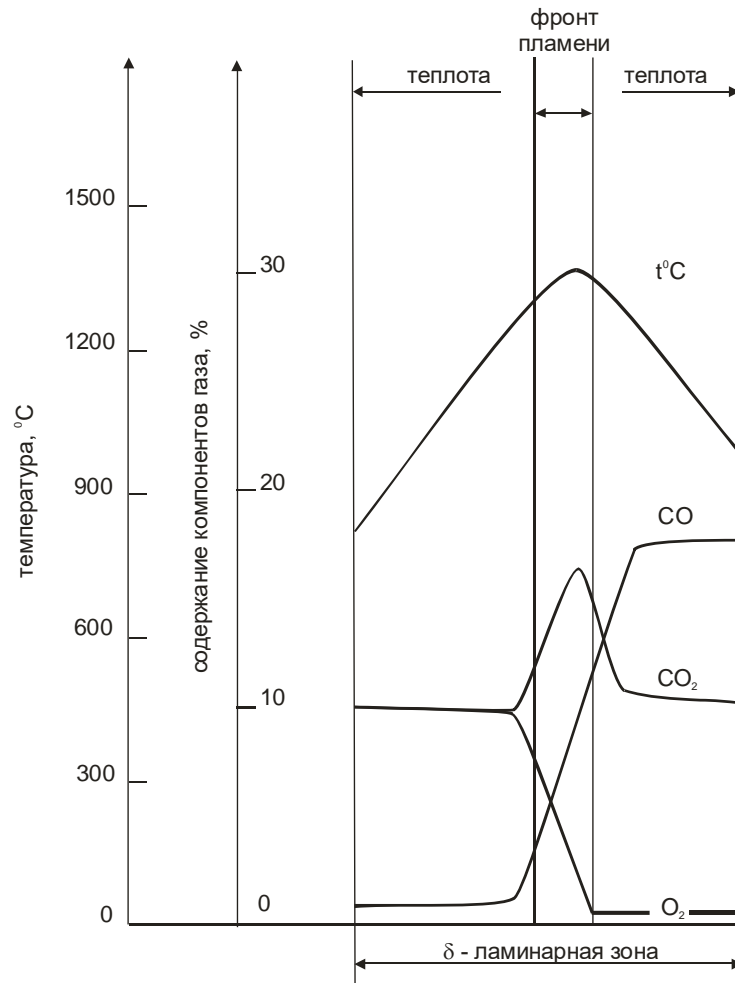


Рисунок 3.2 - Схема горіння частки твердого палива.

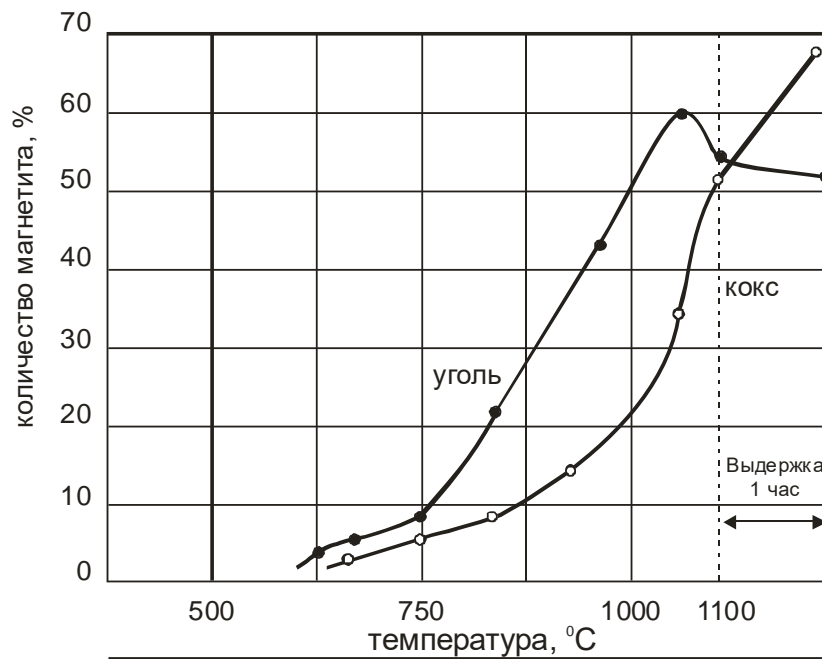


Рисунок 3.3 - Вплив різних вуглецемістких матеріалів на ступінь відновлення гематиту в обкотишах.

Шихта: гематитовий концентрат +1,5% бентоніту  $C/Fe = 0,018$ ;  
нейтральна атмосфера: 50 л/годину азоту.



Таблиця 3.16 - Фізико-хімічна модель спікання офлюсованих обкотишів з гематитового концентрату з добавкою твердого палива

Положення по висоті шару й перетину обкотиша	Зона підігріву (900 – 1100 <sup>0</sup> С)	Зона спікання (1250 – 1270 <sup>0</sup> С)	Зона охолодження
<u>Верх шару</u>  - поверхня обкотиша	$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 393 \text{ кДж}$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 - 178 \text{ кДж}$ $3Fe_2O_3 + C \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO - 129 \text{ МДж}$ $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 + 37.25 \text{ МДж}$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	$4Fe_3O_4 + O_2 \rightleftharpoons 6Fe_2O_3 + 500 \text{ кДж/кг } Fe_3O_4$	$Fe_2O_3$
- центр обкотиша	$Fe_2O_3 + CO \rightarrow Fe_3O_4 + CO_2$ $Fe_2O_3 + C \rightarrow Fe_3O_4 + CO$	$4Fe_3O_4 + O_2 \rightleftharpoons 6Fe_2O_3 + 500 \text{ кДж/кг } Fe_3O_4$	$4Fe_3O_4 + O_2 = 6Fe_2O_3 + 550 \text{ кДж/кг}$
- пори між обкотишами	$O_2; N_2; CO_2; CO$	$O_2; N_2; CO_2$	$O_2; N_2$
<u>Середня частина шару</u>  - поверхня обкотиша	$C + O_2 \rightarrow CO_2$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $Fe_2O_3 + C \rightarrow Fe_3O_4 + CO$ $CO_2 + C = 2CO$ $Fe_2O_3 + CO = Fe_3O_4 + CO_2$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	$4Fe_3O_4 + \rightleftharpoons 6Fe_2O_3 + 500 \text{ кДж/кг}$	$Fe_2O_3$
- центр обкотиша	$Fe_2O_3 + C \rightarrow Fe_3O_4 + CO$ $CO_2 + C = 2CO$ $Fe_2O_3 + CO = Fe_3O_4 + CO_2$	$4Fe_3O_4 \rightleftharpoons 6Fe_2O_3 + 500 \text{ кДж/кг } Fe_3O_4$	$4Fe_3O_4 + O_2 = 6Fe_2O_3 + 500 \text{ кДж/кг}$
- пори між обкотишами	$O_2; N_2; CO_2; CO$	$O_2; N_2; CO_2$	$O_2; N_2$
<u>Низ шару</u>  - поверхня обкотиша	$C + O_2 = CO_2$ $Fe_2O_3 + C = Fe_3O_4 + CO$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $CO_2 + C = 2CO$ $Fe_2O_3 + CO \rightarrow Fe_3O_4 + CO_2$	$Fe_2O_3 + C \rightarrow Fe_3O_4 + CO$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $CO_2 + C = 2CO$ $Fe_2O_3 + CO = Fe_3O_4 + CO_2$	$4Fe_3O_4 + O_2 = 6Fe_2O_3 + 500 \text{ кДж/кг}$

	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$	
- центр обкотиша	$\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	$\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 = 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 500$ кДж/кг
- пори між обкотишами	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2; \text{CO}$	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2; \text{CO}$	Дугтя знизу – (холодне повітря) $\text{O}_2; \text{N}_2$

Таблиця 3.17 - Фізико-хімічна модель спікання офлюсованих обкотишів з магнетитового концентрату з добавкою твердого палива

Положення по висоті шару й перетину обкотиша	Зона підігріву (900 – 1100°C)	Зона спікання (1250 – 1270°C)	Зона охолодження
<u>Верх шару</u> - поверхня обкотиша	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 393$ кДж $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 500$ кДж/кг $\text{Fe}_3\text{O}_4$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 - 178$ кДж	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 = 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 500$ кДж/кг	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
- центр обкотиша	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO} - 187,2$ МДж $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} - 129$ МДж (поверхня)	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
- пори між обкотишами	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2; \text{CO}$	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2$	$\text{O}_2; \text{N}_2$
<u>Середня частина шару</u> - поверхня обкотиша	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 500$ кДж/кг $\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
- центр обкотиша	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 = 6\text{Fe}_2\text{O}_3$

	$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} - 129,07 \text{ МДж}$ (поверхня)		
- пори між обкотишами	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2; \text{CO}$	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2$	$\text{O}_2; \text{N}_2$
<u>Низ шару</u> - поверхня обкотиша	$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 500$ кДж/кг $\text{Fe}_3\text{O}_4$	$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 = 6\text{Fe}_2\text{O}_3$
- центр обкотиша	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}$ $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} = 3\text{FeO} + \text{CO}$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$ $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 = 6\text{Fe}_2\text{O}_3$
- пори між обкотишами	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2; \text{CO}$	$\text{O}_2; \text{N}_2; \text{CO}_2; \text{CO}$	Дуття знизу – (повітря для охолодження) $\text{O}_2; \text{N}_2$

Таким чином, за рахунок горіння вуглецю твердого палива виділяється теплота тільки на поверхні обкотиша. Основна ж кількість теплоти при спіканні гематитових і магнетитових обкотишів виділяється в результаті окиснення магнетиту в зонах спікання й охолодження. Із зони охолодження теплота передається в зони спікання нагрітим повітрям. Внаслідок більш інтенсивного розвитку відновних процесів при термічній обробці гематитових рудовугільних обкотишів використання твердого палива більш ефективно для гематитових обкотишів.

Аналіз зміни вмісту монооксида заліза в обпалених обкотишах показав, що в окисних умовах спікання найменший вміст монооксида заліза спостерігається на поверхні зразка. У цьому випадку паливо більшою мірою використовується як джерело теплоти. У центрі обкотиша, куди ускладнений доступ кисню, знаходиться більш висока концентрація монооксида заліза, що утворюється в результаті інтенсивних процесів відновлення. Очевидно, що подача твердого палива в шихту перед огрудкуванням буде збільшувати кінцевий вміст монооксида заліза тим сильніше, чим нижче вміст кисню в газі-теплоносії.

### 3.5. Фізико-хімічна модель спікання залізородних обкотишів із шихт із добавкою твердого палива.

Промислові випробування технології виробництва залізородних обкотишів з добавкою замавленої окалини прокатних цехів.

При обробці металу на прокатних станах утворюється окалина різної крупності: +10 мм, що осідає в ямі під станом, -10 +2 мм, яка видаляється гідрозмивом, -2 мм, і концентрується у вторинних відстійниках. Вихід окалини становить 2-4 % від маси металу, що прокочується. По фізичним властивостях окалина являє собою пластинки, що складаються із темно-сірого вюстита і світло-сірого магнетиту. Помітна біла кайма гематиту.

У прокатних цехах застосовують масла різного складу: автол, АК-10, АК-15, масло індустріальне (24 і 30), масло пальмове, змазку густу ИП-1.

Разом з окалиною у вторинних відстійниках накопичується масло.

Концентрація окалини в них становить 0,6 г/л, а масел 10-40 мг/л. При використанні пальмового масла його концентрація досягає 200-300 мг/л. Кількість виділеної окалини не перевищує 75-80 %, основна маса її випадає за 30-40 хв. Шлам, який утворився крупністю +0,2 мм і щільністю 2 т/м<sup>3</sup> містить 30% вологи, 22-30 % масел, 65-72 % заліза.

Основні напрямки робіт з використання замавленої окалини полягають у її утилізації при агломераційному процесі. Накопичений значний експериментальний матеріал по використанню замавленої окалини на аглофабриках металургійних комбінатів. Максимально припустимий вміст масла в окалині для цих умов повинен бути не більше 0,2 %. Перевищення цього показника приводить до вібрації роторів і передчасному виходу їх з ладу, а також залипанню системи газовідходів і газоочищення.

Знизити вміст масла в окалині можна шляхом її термічної обробки. Є досвід використання замасленої окалини з метою одержання брикетів.

На Центральному ГЗК проведені промислові випробування технології виробництва залізорудних офлюсованих обкотишів з добавкою замасленої окалини. Гранулометричний склад і пластинчаста форма зерен окалини вимагають попереднього здрібнювання перед тим, як використовувати в шихті для виробництва обкотишів. крім того, змішування невеликої кількості (1-3 % від маси шихти) вологої замасленої окалини з компонентами шихти протікає неефективно. У зв'язку із цим замаслену окалину подрібнювали разом з вапняком у шарових вентильованих млинах з теплоносієм.

Масломістку окалину з відстійників комбінату «Криворіжсталь» поставляли на Центральний ГЗК у піввагонах. Вміст масла й вологи в ній становив по 20 %.

Дослідження процесу здрібнювання суміші окалини й вапняку (співвідношення 1:10) робили в шарових вентильованих млинах продуктивністю 1 і 30 т/год.

У табл. 3.18 наведений хімічний склад компонентів суміші.

Таблиця 3.18 - Хімічний склад компонентів суміші, %

Матеріал	Fe <sub>общ</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO
Окалина	64,9	38,3	1,17	-
Вапняк	-	-	2,02	43,60

Суміш без попереднього дроблення подрібнювали в шаровому млині продуктивністю 1 т/год протягом 16 год. Температура сушильного агрегату на вході в млин становила 200°C. Нижче наведений состав здрібненої суміші.

Fe <sub>общ</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
14,95	8,98	2,79	34,0	6,13

Вміст класу -0,071 мм у здрібненому продукті перебував в межах 57,6 – 63,9 %.

Суміш, що подрібнюється в шаровому млині Ш-32, крім вищевказаних компонентів, включала бентоніт. Хімічний аналіз цих компонентів наведений у табл. 3.19

Таблиця 3.19 - Хімічний склад трикомпонентної суміші, %

Матеріал	Fe <sub>общ</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO
Вапняк	-	-	1,78	42,90
Бентоніт	-	-	59,4	3,13
Окалина	64,9	38,3	1,17	-

Хімічний склад суміші, здрібненої протягом двох діб, наведений нижче.

Fe <sub>общ</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
13,0	8,87	9,92	29,2	5,57

Вміст класу -0,071 мм склав 88,2 %.

Продуктивність млина підтримували на рівні 20 т/год. Температура сушильного агента на вході в млин становила 800°C, а на виході 70°C. Після зупинки млина був зроблений його візуальний огляд. На лопатках роторів вентиляторів ВМ1-1 і ВМ1-2, а також у місцях повітряного тракту, де швидкість потоку найбільш висока, відкладань суміші не спостерігалось.

Незначні відкладання суміші, як і у випадку здрібнювання звичайної суміші вапняку й бентоніту, спостерігалися в місцях з підвищеним гідравлічним опором: у сепараторі й перед циклонами.

Отриману суміш дозували в загальну масу флюсу. Залишковий вміст масла в здрібненій суміші змінювався в межах 0,76 -1,52 %. Ступінь його видалення в процесі здрібнювання у вентилюваному млині становить 70-84,8 %.

Наступний етап випробувань передбачав виготовлення із цією сумішшю обкотишів. Витрата суміші становила 0,18 т на 1 т концентрату. Обкотиші робили на випалювальній машині ОКМ-5-108. Шихту для неї готували в окремому потоці. Офлюсування проводили здрібненою сумішшю вапняку із замасленою окалиною. При вмісті окалини в суміші 20% її витрата досягала 30-40 кг на 1 т обкотишів.

У процесі дослідження при офлюсуванні обкотишів спільно здрібненою сумішшю окалини, вапняку й бентоніту визначали гранулометричний склад і прочностні характеристики сирих обкотишів. Вихід придатних обкотишів (фракція 10 – 20 мм) становив 70-84 % і перебував на рівні звичайного виробництва. Міцність сирих обкотишів на стиск становила 11 – 18 н/обкотиш. Сирі обкотиші витримували більше 20 скидань із висоти 300 мм.

Спікання обкотишів робили по технологічному режиму, затвердженому на комбінаті.

Хімічний склад шихти й отриманих з неї обпалених обкотишів наведений нижче (%).

Fe	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Основність
58,82	4,1	0,95	7,81	0,69
60,01	4,77	1,04	7,96	0,73

Нижче наведені показники якості обпалених обкотишів (за результатами випробувань у стандартному барабані), %:

Показники	Звичайні обкотиші	Обкотиші, офлюсовані сумішшю окалини з вапняком
Індекс на удар	82,0 – 83,0	86,0 – 86,6
Індекс на стирання	14,5 – 15,5	10,6 – 11,3
Міцність на стиск, кН		1,6 – 1,9

Показники якості обпалених обкотишів при використанні флюсової суміші з добавкою замасленої окалини практично залишилися без зміни. Розрахункове підвищення вмісту заліза в обпалених обкотишах при витраті окалини 15 кг на 1 т обкотишів становить 0,07 %.

Флюсовою сумішшю вноситься в шихту в середньому 6,86 % заліза. При її витраті, рівній 153,5 кг на 1 т обкотишів, кількість внесеного заліза складе 10,53 кг на 1 т, або 15 кг окалини. За дослідний період зроблено близько 32,7 тис. т обкотишів, що дозволило заощадити 490 т концентрату.

## 4 Охорона праці

### 4.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика проектного об'єкту.

Наше підприємство віднесене до класу I.

Будівельний майданчик проектного цеху розташовують з підвітряної сторони по відношенню до населених пунктів, щоб газ, пилю і дим не потрапляли на житлові квартали. Фабрика по виробництву обкотишів відноситься до підприємств I класу із санітарно-захисною зоною 1000 метрів. Мінімальна ширина захисної зони - 1000 м. У захисній зоні висаджуються дерева, чагарники і газони. Сумарна площа озеленення складає 40% проектного території. При цьому враховують санітарно-захисні і декоративні властивості рослин, а також стійкість до шкідливостей, цехом, що виділяється.

Майданчик цеху по його функціональному використуванню розділяють на зони: передцехову, виробничу, підсобну і складську. Рациональне планування основних і допоміжних цехів роблять істотний вплив на загальний стан безпеки і оздоровлення умов праці.

Побутові приміщення розміщують на відстані 800 м від прохідних пунктів, а відстань між прохідними - 1,5 км. При проектуванні виробничих приміщень на одного працюючого об'єм виробничого приміщення складає 15 м<sup>3</sup>, а площа - 4,5 м<sup>2</sup>. Побутові приміщення розташовують якомога ближче до робочих місць. До складу побутових приміщень і пристроїв, незалежно від класу підприємства, входять: гардеробні, душові, туалети, курильні, пральні, приміщення для обігріву працюючих. Ці приміщення розташовують на площі цеху.

Окрім побутових приміщень, на території проектного об'єкту передбачаються пункти живлення, здравпункти. Залежно від числа працюючих нормується кількість лікарських і фельдшерів здравпунктів, склад і площа їх.

Особливу увагу надають організації безпечного пересування людей по території підприємства. Перш за все, усувають можливість пересування людей по залізничних коліях. Для цього влаштовують перехідні мости і тунелі, що забезпечують зручний і безпечний прохід людей від прохідних підприємства безпосередньо до цехів і служб.



Тротуари розташовують не ближче 3,75 м від осі найближчої залізничної колії нормальної колії.

Переїзди через залізничні колії розташовують в місцях, що забезпечують хорошу видимість шляхів, що дає можливість завчасно побачити наближення рухомого складу.

Правильне компонування виробничих цехів, складів, службових і побутових приміщень забезпечує зручну послідовність виробничого потоку, простий зв'язок між окремими цехами і приміщеннями, найкоротші транспортні шляхи.

#### 4.2. Основні шкідливі і небезпечні наслідки проектного виробництва.

На фабриці огрудкування при нормальному протіканні технологічного процесу основними негативними чинниками є тепло, пил і газовиділення, шум, вібрація.

Основну шкідливість представляє оксид вуглецю - безбарвний газ, що не має запаху і не надає дратівливих дій на організм людини, що може викликати отруєння без яких-небудь попередніх відчуттів. Потрапляючи в організм людини через легені, він порушує нормальні процеси газового обміну і окислення в організмі, що приводить до важких наслідків.

Небезпека отруєнь певною мірою залежить від густини, кольору і запаху газів.

У цеху є також наступні шкідливі і небезпечні чинники:

а) механічні чинники, що характеризуються дією на людину кінетичної, потенційної енергій і механічним обертанням. До них відносяться кінетична енергія рухомих і обертаємих тіл, шум, вібрація;

б) термічні чинники, що характеризуються тепловою енергією і аномальною температурою. До них відносяться температура нагрітих предметів і поверхонь;

в) електричні чинники, що характеризуються наявністю струмоведучих частин устаткування.

Шум - це безладне хаотичне поєднання хвиль різної частоти і інтенсивності. Шум і вібрація на виробництві завдає великого збитку, шкідливо діючи на організм людини і знижуючи продуктивність ставка.

Шум виникає при механічних коливаннях. Розрізняють три форми дії шуму на органи слуху:

а) стомлення слуху;

б) шумова травма;

в) посередня тугоухість.

Експлуатація більшості машин і устаткування зв'язана із застосуванням електричної енергії. Електричний струм, проходячи через організм, надає

термічну, електролітичну і біологічну дію, викликаючи місцеві і загальні електротравми. Основними причинами дії струму на людину є:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин;
- поява напруги на металевих частинах устаткування в результаті пошкодження ізоляції або помилкових дій персоналу;
- крокова напруга в результаті замикання дроту на землю.

#### 4.3. Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек проєктованого виробництва.

##### 4.3.1. Захист від шуму і вібрації.

Для зниження шуму, що виникає в цеху, передбачено: масивний бетонний фундамент, шумопоглинаючі люки, застосування звукоізолюючих кожухів і акустичних екранів на устаткуванні, що є джерелами підвищеного рівня шуму. Рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати 85-90 дБ.

Вібруюче устаткування встановлюється на вібропоглинаючій поверхні.

##### 4.3.2. Електробезпека.

Основні заходи захисту від поразки струмом: ізоляція, недоступність струмоведучих частин, застосування малої напруги (не вище 42 В, а в особливо небезпечних приміщеннях - 12 В), захисне відключення, застосування спеціальних електрозахисних засобів, захисне заземлення і занулення. Однією з найчастіше вживаною мірою захисту від поразки струмом є захисне заземлення. Заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею металевих неструмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою. Розділяють заземлювачі штучні, призначені для цілей заземлення, і природні - металеві предмети, що знаходяться в землі, для інших цілей.

##### 4.3.3 Захист від пилу і газів.

Для захисту повітряного середовища промплощадки від технологічних і аспіраційних викидів передбачені аспіраційні і газоочисні установки з електрофільтрами, трубами-коагуляціями з краплевловлювачами і циклонами з водяною плівкою.

Місця завантаження матеріалу в бункери конвеєрами закриті так, щоб виключалася можливість пиловиділення.

В цілях безпеки природним газам додають характерний запах, вводячи в газ деякі хімічні речовини, наприклад етілмеркаптан.

Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини встановлюють стаціонарні або пересувні установки, найчастіше з пристроями для водорозпилювання.

На бункерних естакадах за відсутності ходових майданчиків або їх неправильному розташуванні можливі випадки падіння людей з естакад, наїзди залізничних составів або придавлення вантажників кришками люків

рухомого складу. Для виключення цих випадків естакади обладнають ходовими майданчиками з обох боків по всій довжині естакади. Ходові майданчики захищають поручнями і сполучають між собою переходами, влаштованими через залізничні колії. Ходові майданчики мають ширину не менше 700 мм і відстоять від осі залізничної колії не ближче 2 м. Майданчики розташовують на рівні рейок, що виключає можливість попадання шихтових матеріалів і створює зручність при обслуговуванні люків вагонів.

Бункери і отвори між естакадою і ходовими майданчиками закривають запобіжними ґратами з розміром осередків 200x200 мм. Щоб поверхня ґрат була рівною, їх виготовляють зварними із смуг, поставлених на ребро.

При конвеєрній подачі шихтових матеріалів на бункери для проходу людей влаштовують над конвеєрами перехідні містки з суцільним настилом, захищені поручнями заввишки не менше 1 м з обортовкою по низу заввишки не менше 140 мм.

#### 4.3.4. Освітлення виробничого приміщення.

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці і якості продукції, що випускається, безпеці праці і зниженню травматизму на ділянці. Освітлення робочого місця - найважливіший чинник створення нормальних умов праці. Проектований цех має загальне штучне освітлення з рівномірним розташуванням світильників тобто з однаковими відстанями між ними. Джерелами світла є дугові ртутні лампи ДРЛ (дугові ртутні), вони є ртутними лампами високого тиску із справною кольоровістю.

#### 4.3.5. Виробнича санітарія.

З метою зменшення шкідливих виробничих чинників на агломераційній фабриці повинно бути забезпечено:

- температура на робочих місцях – 13-28<sup>0</sup>С;
- вологість повітря – не більш 75%;
- швидкість повітря – 0,3-1,0 м/с;
- температура поверхні устаткування і огорож – не більше 45<sup>0</sup>С;
- температура взимку в галереях – не вище 22<sup>0</sup>С;
- надлишок тепла на робочому місці – не більш 84 кДж/м<sup>3</sup>г;
- подача зовнішнього повітря на I трудящого – 20-30 м<sup>3</sup>/г;

На робочих місцях фабрики повинна бути встановлена аварійна вентиляція, що включається від аналізаторів, налаштованих на допустиму концентрацію твердих речовин.

Приточно-витяжна вентиляція приміщень, що поєднуються між собою, встановлюється так, щоб виключалася можливість надходження повітря з великими виділеннями шкідливих речовин або з наявністю вибухонебезпечних газів, пари і пилу в приміщення з меншими виділеннями або в приміщення без цих виділень. Повітря приточування не повинне

подаватися через зони з великим забрудненням повітря в зони з меншим забрудненням.

#### 4.4 Засоби індивідуального захисту.

Перелік засобів індивідуального захисту, терміни їх використання залежно від виду професії регламентуються «Нормами видачі спецодягу, спецвзутті і засобів захисту для працюючих на підприємствах металургійної промисловості».

Засобами індивідуального застосування під час роботи з метою захисту людини від травмування або професійного захворювання, а також від несприятливої дії зовнішнього середовища забезпечуються, згідно штатному розкладу, працівники агломераційного виробництва (агломератник, газівник, водопровідник, електрогазозварник, електрик по ремонту і обслуговуванню електроустаткування та ін.). У комплект захисних засобів входять: каска пластмасова, підшоломник, черевики шкіряні, рукавиці, респіратор-пелюстка, рукавиці брезентові, костюм непроникний, окуляри від механічних пошкоджень, вушні заглушки - беруши.

Захисні засоби зберігають в спеціально відведених місцях, обладнаних шафами і спеціальними пристосуваннями.

##### 4.4.1 Гігієнічні заходи.

В умовах гарячих робіт організм людини втрачає багато вологи в результаті рясного потовиділення. При цьому разом з потом з організму виділяються різні солі, вітаміни і азотні з'єднання, що викликає збіднення організму речовинами, необхідними для нормальної життєдіяльності людини. Порушення водно-сольового балансу в організмі людини негативно відображається на його здоров'ї. Тому необхідна організація правильного питного режиму. Для роздачі підсоленої газованої води (на літр води додається 5 г куховарської солі) і білково-вітамінних напоїв (що нагадує на смак квас) в цеху встановлюють кіоски, а у окремих агрегатів - балони в ящиках з льодом.

#### 4.5. Пожежна профілактика.

У проектованому виробництві основні процеси характеризуються утворенням або споживанням великої кількості горючих газів, тому є постійна небезпека виникнення пожежі.

Головну пожежну небезпеку в агломераційному виробництві представляють вибухи газу. Ці процеси виникають раптово і протікають настільки швидко, що працюючі звичайно не встигають покинути небезпечні місця. Небезпека вибуху горючих газів виникає при утворенні газоповітряних сумішей. Тому основні заходи щодо запобігання вибухам полягають в попередженні утворення газоповітряних сумішей, що

досягається герметизацією місткостей, в яких знаходяться гази, і підтримкою позитивного тиску усередині газопроводів і апаратів.

До основних засобів гасіння пожеж відносять воду, водні емульсії галоїдированні вуглеводнів, водяну пару, легко-механічну і хімічну піну, інертні гази, вуглекислоту, стисле повітря, сухі вогнегасні речовини і покривала.

#### 4.5.1. Основи протипожежного захисту.

При проектуванні і будівництві будівель застосовують різні матеріали, що не згорають, матеріали з вогнестійкими покриттями, влаштовують протипожежні розриви і перешкоди, розробляють способи і засоби гасіння пожеж.

Для попередження розповсюдження пожежі конструкції будівель забезпечують протипожежними перешкодами. До протипожежних перешкод відносяться протипожежні стіни і перекриття. При розрахунку протипожежного розриву між виробничими і складськими приміщеннями враховують пожежну небезпеку речовин (зріджені пальні газ, легкозаймисті і горючі рідини, тверді горючі речовини), що зберігаються на складах, призначення, місткість і розташування складів. При проектуванні виробничих, допоміжних і інших будівель передбачають можливість безперешкодного виходу з приміщень при виникненні пожеж, вибухів і інших аварій.

#### 4.5.2. Пожежна сигналізація і зв'язок.

Для запобігання пожежам і вибухам велике значення має застосування контрольно-вимірювальної апаратури, світлозвукової сигналізації, регулюючої апаратуру автоматичного типу і блокувань безпеки, дозволяючих попередити виникнення небезпечних ситуацій, а при виникненні запалювання включити спеціальні пристрої для ліквідації пожежі. Для сповіщення пожежних підрозділів про виникнення пожежі на промислових підприємствах використовують телефонний зв'язок і спеціальну електричну пожежну сигналізацію (ЕПС).

Електричною пожежною сигналізацією обладнають виробничі і складські будівлі, приміщення і споруди.

Таким чином, можливість створення безпечних умов праці повинно бути закладено в самому виробництві при широкому використуванні досягнень науки і техніки. Охорона здоров'я робітників і службовців в процесі виконання трудових обов'язків закріплена в законодавстві, безпосередньо направленим на створення безпечних і здорових умов праці. Охорона праці в Україні розглядається як один з важливих соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і економічних заходів.

## 5 ОХОРОНА ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Екологічна ситуація в гірничо-металургійному комплексі України із року в рік не поліпшується. За останні 10 років, у зв'язку з відсутністю фінансування не проводився комплексний аналіз стану галузі, щодо викидів в атмосферу, скидань у водоймища, утворення відходів, тому достовірна картина екологічного стану галузі відсутня. Проте, на основі окремих промислових регіонів, можна зробити висновок, що підприємства чорної металургії є основним джерелом забруднення атмосфери. У промислових містах, в яких розташовані металургійні підприємства, концентрації шкідливих речовин в атмосфері, в 3–5 разів перевищує санітарні норми, що відображається на здоров'ї населення у вигляді своєрідного екологічного СНІДу – синдрому придбаного імунодефіциту, який формується під впливом токсичних речовин, що містяться у всіх викидах, і відходах підприємств гірничо-металургійного комплексу.

При роботі агломераційної фабрики найбільше забруднення припадає на повітряне середовище. Водний басейн не потрапляє під вплив агломераційного виробництва, так як агломераційна фабрика, має закритий цикл водопостачання, тобто вода циркулює в межах фабрики де й проходить очистку.

Джерелами забруднення повітряного басейну на агломераційних фабриках є, агломераційні машини, барабанні і чашкові охолоджувачі, обпалювальні печі для виробництва вапна, вузли пересипки, транспортування, сортування агломерату і компонентів шихти. Тому, зниження впливу металургійних підприємств на навколишнє середовище є надзвичайно важливим. І першорядною задачею є зниження впливу агломераційного виробництва, на нього припадає більше 50% викидів пилу, монооксиду вуглецю, сірчастого ангідриду, діоксиду азоту. Це пояснюється, перш за все, явною відсталістю майже всіх стадій процесу виробництва агломерату. Головним напрямом зниження викидів агломераційного виробництва є зменшення витрат твердого палива, оскільки викиди агломерації на 78,5 % представлені монооксидом вуглецю ( а інше, це 8 % пил; 11 %  $SO_2$  і 2,5 %  $NO_x$ ).

При виробництві в країні близько 44 млн.т агломерату (2003–2004 роках) розрахункові валові викиди шкідливих речовин склали 1528 тис. т/рік, зокрема:

- пил – 123,0
- монооксиду вуглецю – 1200
- сірчастого ангідриду – 172
- оксидів азоту – 33,0

Витрати теплової енергії і питома витрата твердого палива на процес спікання на вітчизняних агломераційних фабриках вище ніж ці показники для закордонної агломерації на 40–50%, а викиди шкідливих речовин в атмосферу в 4–6 разів перевищують гранично допустимі рівні.

Тому для їх зменшення логічним і раціональним буде зменшення витрати палива, енергоспоживання і використання вторинних енергетичних ресурсів.

Нижче приведені основні технологічні способи зменшення газових викидів при агломерації:

- забезпечення оптимальної крупності шихтових матеріалів;
- додрібнення крупної фракції (8–10 мм) аглоруди;
- зниження крупності звороту до 5–8 мм;
- оптимізація крупності твердого палива до рівня 0,5–3 мм.

Всі вищеперераховані заходи, дозволяють знизити витрати палива на 10–20 %.

Дозування і транспортування шихтових матеріалів, за допомогою відповідної сучасної техніки, дозволяє досягти стабільності хімічного складу агломерату, і економії твердого палива на процес спікання, може складати, за різними підрахунками від 25 до 50 %.

Змішування і огрудкування шихти в дві стадії в паралельно встановлених барабанах підвищує якість агломерату, знижує витрату твердого палива до 38–42 кг/т агломерату (при 55–77 кг/т на вітчизняних агломераційних фабриках). Роздільне огрудкування тонких концентратів в міцні гранули розміром 3–6 мм дозволяє забезпечити потрібну газопроникність шихти, спікання її в високому шарі заввишки 500–700 мм, при збільшенні продуктивності і зменшенні витрати твердого палива на 15 %.

Збільшення висоти спікаемого шару шихти до 350–450 мм, забезпечує зменшення витрати палива на 8–10 %. Знижує винос пилу з шару, збільшує повноту горіння палива.

При сумісному подрібненні вапняку і палива, роздільній подачі палива в шихту можна скоротити викиди оксидів азоту і СО на 20 %.

Рециркуляція 25 % відхідних газів, може нейтралізувати відповідну частину СО, діоксинів і фуранів. Це досягається шляхом забору агломераційного газу, відбираемого з тракту. При цьому змінюється склад викидів:

зменшується вміст оксиду вуглецю;

збільшується концентрація парів води і двоокису вуглецю.

Вміст парів води в рециркулянті сприяє зменшенню хімічного недопалювання, при горінні твердого палива, і виходу СО на 20-40 %. Зменшення хімічного недопалювання з урахуванням фізичного тепла рециркулянту при температурі біля 100°C і тепла від окислення СО до СО<sub>2</sub> у верхній частині зони горіння забезпечать зменшення витрат твердого палива.

Знижена в порівнянні концентрація кисню в рециркулянті може призвести до зменшення вертикальної швидкості спікання.

Особливе значення має рециркуляція для агломераційних машин, на яких встановлені фільтри для очищення газу від сірки (так звана вапняна завіса). У зв'язку з великими об'ємами сірки, на очищення подається приблизно половина газу усього агломераційного газу, а друга половина викидається в димар без очищення. Частина газу з борову димаря можна повернути на агломераційну машину як рециркулянт.

Організація рециркуляції газів не вимагає великих капітальних витрат. При цьому агломераційні машини устатковуються укриттями, для роздачі рециркулянту, підводяться трубопроводи і встановлюється димосос на кожен агломераційну машину індивідуально або на групу машин.

Організація рециркуляції дозволить зменшити витрату твердого палива в шихті на 5–9 %, зменшити викиди в атмосферу пилу, оксидів азоту і СО відповідно на 15–25, 16–27 і 32–48%.

В наш час на агломераційних фабриках реалізовано три способи рециркуляції:

1. EOS (агломерация з оптимізацією викиду) упроваджений на трьох агломераційних фабриках фірми "Comins NL" в Еймейдені.

Близько 50 % газу відбирається із збірного газоходу за головним ексаустером і за допомогою допоміжного ексаустера спрямовується безпосередньо під кожухи, які повністю накривають агломераційну стрічку. Для регулювання вмісту кисню в газі на спікання, в рециркулянт засмоктується невелика кількість свіжого повітря;

2. LEEP (виробництво агломерату з малим забруднюючим викидом і оптимізованим енергоспоживанням).

Розроблений і реалізований на агломераційній фабриці фірми НКМ, на якій агломераційна машина спочатку була обладнана двома паралельними збірними газоходами. В один з газоходів забирається гарячий відхідний газ, тільки із задньої частини агломераційної стрічки, а в іншій - холодний газ з передньої частини агломераційної машини. В теплообміннику гарячий газ охолоджується і надходить під кожухи агломераційної стрічки, а холодний газ підігрівається і спрямовується в димар. У порівнянні з процесом EOS кожухи встановлені над агломераційною стрічкою із деяким зазором, який забезпечує підсос свіжого повітря в технологічний газ;

3. EPOSINT (екологічно оптимізований процес спікання).

Застосування системи рециркуляції дозволяє одночасно зменшити загальне утворення забруднювачів, і загальній об'єм газу, який вимагає доочистки. Проте знижена концентрація кисню в газі на процес спікання може призвести до зниження продуктивності на 10 %, по барабанній міцності агломерату. Економія твердого палива може скласти до 10 % (при використанні даної технології).



Таким чином, аналіз впливу окремих стадій агломераційного процесу на шкідливі викиди показує, що шляхом вдосконалення підготовки шихти можна скоротити викиди токсичних газів мінімум на 30–35 % (біля 500 тис.т/рік).

Що стосується безпосередньо газоочисних установок, то найбільш широке використання на закордонних агломераційних фабриках припадає на наступні системи газоочистки, які проілюстровані на рис 6.1.

Технологію очищення можна умовно розділити на три групи:

1. Електрофільтр і/або батарейні циклони в комбінації з додатковими пристроями;
2. Системи рециркуляції відходячого газу;
3. Додаткові пристрої, фільтри встановлені на кінці труби:
  - а) Мокра газоочистка;
  - б) Тканинний (рукавний) фільтр.

До найефективніших і дешевших відносяться сухі способи знепилювання із застосуванням електро- і рукавних фільтрів. Рукавні фільтри мають ряд переваг перед електрофільтрами, оскільки за інших рівних умов забезпечують вищу і стабільнішу ефективність (на рівні 98,5 %), не залежну від складу пилу і його концентрації. Можливість одночасного очищення технологічних газів від пилу і сіркових з'єднань робить їх найефективнішими і дешевшими фільтрами для газоочистки.

Рукавні фільтри можуть бути застосовані і для знепилювання газів, хвостової частини агломераційної машин (зони розвантаження і грохотіння агломерату). В цьому випадку рекомендується застосовувати двохступеневу систему очищення, в якій як 1 ступінь доцільно використовувати апарати інерційного очищення. А другим ступенем бажано встановлювати рукавні або електричні фільтри.

Найбільш ефективним рішенням покращення стану екологічної безпеки в місцях розміщення агломераційних фабрик є застосування новітніх технологій, що дозволяють радикально знизити ресурсо – і енергоспоживання [8].