

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

ПАЗЮК Михайло Юрійович

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ
КЕРУВАННЯ СТРУКТУРОЮ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ
ШИХТИ ТА РОЗРОБКА
НОВИХ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ЇЇ СПІКАННЯ

Спеціальність - 05.16.02 - "Металургія чорних металів"

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ, 1995

AB 34.200

Дисертація представлена у формі рукопису.

Робота виконана в Запорізькій державній
інженерній академії

Офіційні опоненти:

С.М. Петрушов

професор, доктор технічних наук

М.М. Бережний

с.н.с., доктор технічних наук

А.В. Гордієнко

професор, доктор технічних наук

Провідне підприємство -

Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Е. Дзержинського

Захист дисертації відбудеться "14" травня 1996 р.

в 12:30 на засіданні спеціалізованої ради Д.03.11.02

Державної металургійної академії України

за адресою:

320635, ДСП, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДМАУ

Автореферат розісланий "16" березня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
доктор технічних наук
професор


ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

В.К. Цапко

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00740414 (K)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. В теперішньому часі найбільш важливим завданням народного господарства є переведення економіки на інтенсивний шлях розвитку і більш повне використання виробничого потенціалу країни.

Підвищення якості і досягнення необхідних техніко-економічних показників виробництва агломерату може бути реалізовано на стадії підготовки шихти і формування її шару на аглострічці. Ця проблема особливо актуальна у теперішньому часі, коли основним залізовміщуючим компонентом агломераційної шихти стає концентрат глибокого збагачення, вміщуючий до 90-95% мілких фракцій. Вона може бути вирішена в основному за рахунок удосконалення конструкцій існуючого технологічного устаткування і поліпшення підготовки залізородного матеріалу до окускування.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ. Теоретичні та експериментальні дослідження закономірностей окускування залізородних матеріалів і розробка математичних моделей руху та взаємодії полідисперсних матеріалів в різних технологічних агрегатах, які дозволяють встановити умови формування структури шару агломераційної шихти на палетах, що забезпечують збільшення виробництва агломашин і зниження витрат твердого палива.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі основні задачі:

- на основі теоретичного узагальнення результатів досліджень сформовані і обґрунтовані напрями розробки математичної моделі структури шару полідисперсного матеріалу на палетах агломашини;

- розроблені моделі руху і взаємодії сипучих мас в різних агрегатах агломераційного виробництва, які дозволяють глибше проаналізувати основні технологічні ситуації і впровадити конкретні рекомендації для поліпшення роботи агломераційних і обжигових машин;

- виконано узагальнений опис встановлених закономірностей процесу формування структури агломераційної шихти на палетах, визначених умовами грануляції, руху та змін фізичного стану матеріалу;

НАУКОВА НОВИЗНА. Розроблені і теоретично обгрунтовані методи інтенсифікації спікання агломераційної шихти, які будуються на встановлених закономірностях формування структури сипучого матеріалу у процесі їх транспортування, окомкування і завантаження на конвейерні машини.

Розроблені математичні моделі руху полідисперсних матеріалів у різних технологічних агрегатах, які дозволяють встановити умови формування структури агломераційної шихти, що забезпечують підвищення продуктивності агломашин і скорочення витрат твердого палива.

Сукупність отриманих результатів є теоретичним узагальненням закономірностей процесу формування структури агломераційної шихти, що дозволяє вирішити важливу проблему економії паливо-енергетичних ресурсів і інтенсифікації окискування залізородної сировини.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ роботи визначається рішенням наступних науково-технічних проблем:

- розробкою методів розрахунку параметрів барабанних і тарільчатих грануляторів;
- на основі математичного моделювання визначенням раціональних умов роботи дільниць приймальних бункерів поточно-транспортних систем, розробкою і впровадженням алгоритмів управління ПТС;
- практичним використанням математичних моделей для удосконалення конструкцій завантажувальних вузлів агломашин і технології укладання шихти на палети;
- використанням математичних моделей формування структури шару полідисперсного матеріалу при розробці метода оптимізації, дозволяючого інтенсифікувати процес агломерації відносно конкретних технологічних умов;
- розробкою і реалізацією способів управління підготовкою агломераційної шихти до спікання і встановленням необхідних для цього інформаційних каналів.

РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ В ПРОМИСЛОВОСТІ. На агломераційних машинах ЗМК "Запоріжсталь" розроблена і втілена технологія формування структури полідисперсного матеріалу і підготовки агломераційної шихти до окускування. Отримання заданої структури шару агломераційної шихти дозволило знизити витрати твердого палива на 1,04 % і підвищити продуктивність агломашини.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень закономірностей руху і взаємодії компонентів агломераційної шихти в різних технологічних агрегатах розроблені і впроваджені способи і системи стабілізації роботи трактів подачі шихти на аглострічку, удосконавлені системи управління завантаженням шихти на палети. У результаті поліпшилась стабільність подачі шихти на аглострічку, що сприяло підвищенню продуктивності агломашини на 2,1 %. Загальний економічний ефект від втілення технологічних розробок складає 808 тис. крб. за рік у цінах 1990 року.

На фабриці окомкування Лебединського ГЗК втілені: методика і алгоритм розрахунку раціональних рівней встановлення сигналізаторів заповнення приймальних бункерів обжигових машин; математична модель дільниці приймальних бункерів фабрики окомкування; алгоритм управління розподілом матеріалів між приймальними бункерами відділення фабрики окомкування. Очікуваний економічний ефект від втілення НДР складає 235 тис. крб. у цінах 1990 року.

Результати досліджень закономірностей формування структури шихти використані "НДІАчермет" при проєктуванні АСУ агломераційним виробництвом.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Доповідь про матеріали дисертації та їх обговорення були проведені на міжнародних, всесоюзних та республіканських науково-технічних конференціях та семінарах: всесоюзном семінаре "Проблеми автоматизації окускування железных руд и концентратов", Керчь, 1974; всесоюзном научно-техническом совещании "Теория и практика создания АСУ ТП с применением вычислительной техники на предприятиях окускування сыпучих материалов", Керчь, 1978; республіканской конференции "Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к

доменной плавке", Днепропетровск, 1980; республиканском научно-техническом семинаре "Теплотехника и газодинамика агломерационного процесса", Киев, 1983; республиканском научно-техническом семинаре "Теплотехника и газодинамика процессов окускования железорудных материалов", Киев, 1986; республиканском научно-техническом семинаре "Оптимизация процессов окускования рудных материалов", Киев, 1987; всеоюзной научно-технической конференции "Технология сыпучих материалов", Ярославль, 1989; всеоюзной научно-технической конференции "Интенсификация процессов переработки труднообогатимых тонковкрапленных руд", Кривой Рог, 1989; республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии", Днепропетровск, 1989; всеоюзной научно-технической конференции "Теплотехническое обеспечение технологических процессов металлургии", Свердловск, 1990; 2-ом всеоюзном совещании "Базы физико-химических и технологических данных для оптимизации металлургической технологии", Курган, 1990; 4-ой международной научно-технической конференции "Прикладные аспекты современной теории автоматизации", Киев, 1990; всеоюзном научно-техническом семинаре "Техноэкология - 91", Донецк, 1991; всеоюзном семинаре по вибрационной технике, Батуми, 1991; всеоюзном совещании "Моделирование физико-химических систем и технологических процессов в металлургии", Новокузнецк, 1991; I-ой Украинской конференции по автоматическому управлению "Автоматика - 94", Киев, 1994.

ПУБЛІКАЦІЇ. Основний зміст дисертації є опублікований в монографії, 44 статтях та 5 авторських свідоцтвах на винахід.

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертація складається із вступу, шести глав, заключної частини, додатків. Викладена на 376 сторінках, включає 283 сторінки машинописного тексту, 21 таблицю, 107 ілюстрацій, список літератури з 205 найменувань.

ОСОБИСТИЙ ВКЛАД АВТОРА. Відображений у розвитку теоретичних основ формування структури полідисперсних матеріалів і встановленні закономірностей технологічних процесів підготовки залізорудної сировини до

окусування, у розробці методів керування формуванням структури агломераційної шихти, які забезпечують інтенсифікацію її спікання, участі в експериментальних роботах по їх реалізації.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ. При розробці методів інтенсифікації спікання агломераційної шихти і моделюванні процесів у сипучих матеріалах використані методи математичного аналізу з використанням фундаментальних положень фізики із області механіки сипучих середовищ, математичного апарату диференційного, інтегрального і операційного обчислень, рівнянь математичної статистики, експериментальний метод на базі різних лабораторних установок, промислові експерименти в умовах аглофабрик металургійних підприємств України.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність роботи, сформовані цілі і задачі досліджень, наукові положення і результати, які захищаються.

1. ПІДГОТОВКА ЗАЛІЗОРУДНИХ МАС ДО ОКУСУВАННЯ.

Розглянуто промислові способи підготовки залізорудних матеріалів до доменного процесу і обгрунтовані шляхи її інтенсифікації. Показано, що в сучасних умовах головним напрямком підвищення продуктивності агломераційних машин і зниження витрат палива є поліпшення якості металургійної сировини.

2. АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТЕЙ ЗАЛІЗОРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Вплив структури полідисперсного залізорудного матеріалу на металургійні якості агломерату

Досліджена робота трактів шихтопідготовки і завантажувальних вузлів агломераційних машин ЗМК "Запоріжсталь", обладнаних вібраційними і барабанными дозаторами, а також вплив сегрегації шихти на хімічний склад і міцність агломерата, при спіканні у шарі висотою 0,38 - 0,39 м. Сегрегацію

оцінювали по фракційним розсівам проб, взятих із різних горизонтів шару матеріалу по краям і у центрі палет.

Встановлення залежності $(Fe_3O_4)_i$, $(Fe_2O_3)_i$, Φ_{+10i} в різних горизонтах шару агломерату від їх положення (h_i), середнього діаметру часток (d_i), основності ($Осн_i$) та вмісту палива (C_i) виконано з допомогою регресійного аналізу.

Результати експериментів показують, що хімічний склад і міцнісні характеристики агломерату тісно пов'язані з закономірностями розподілу по висоті шару гранулометричного складу підготовленого матеріалу, його основності і вмісту палива. Це обумовлює можливості управління металургійними якістями агломерату впливом на умови підготовки шихти і структури шару, який формується на палетах.

2.2. Основні закономірності сегрегації агломераційної шихти у шарі

Розглянуті загальні теоретичні питання формування структури шару полідисперсного матеріалу і встановлені основні його закономірності. Дослідження базуються на умовах нерозривності потоку часток, які надходять на палети і постійності фракційного складу матеріалу на різних дільницях його руху. Перерозподіл фракцій всередині сипучої маси, що спостерігається у результаті завантаження на палети, характеризується системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{11} + \Phi_{21} + \dots + \Phi_{k1} &= \Phi_{1\Sigma}; \\ \Phi_{12} + \Phi_{22} + \dots + \Phi_{k2} &= \Phi_{2\Sigma}; \\ \dots & \\ \Phi_{1n} + \Phi_{2n} + \dots + \Phi_{kn} &= \Phi_{n\Sigma}; \\ \dots & \\ \Phi_{11} + \Phi_{12} + \dots + \Phi_{1n} &= \Phi_1; \\ \Phi_{21} + \Phi_{22} + \dots + \Phi_{2n} &= \Phi_2; \\ \dots & \\ \Phi_{k1} + \Phi_{k2} + \dots + \Phi_{kn} &= \Phi_k; \end{aligned} \right\} (1)$$

де Φ_{ij} - кількість i -ї фракції у j -й зоні шару, %; n - кількість зон у

шарі шихти; k - кількість фракцій у матеріалі; $\Phi_{j\Sigma}$ - загальна кількість фракцій, які знаходяться у i -й зоні шару, %.

Для моделювання роботи завантажувальних пристроїв агломераційних машин представляє значний інтерес визначення залежностей виду $\Phi_{ij} = f(d_{jcp})$, де d_{jcp} - середній діаметр часток у j -й зоні шару, мм.

Для встановлення механізму взаємозв'язку $d_{jcp} = f(h_{jca})$ запропоновано використати закономірності руху сферичної частки з умовним діаметром d_{jcp} по похилій площині із змінним кутом нахилу і тертям.

2.3. Формування шару полідисперсного матеріалу

Окрема частка шихти представлена як сферичне тіло, яке вільно рухається по похилій площині з відомими характеристиками. Отримано рівняння, яке характеризує розподіл часток шихти по висоті шару при різних режимах її руху

$$h_i = \frac{l_1(\sin \alpha_1 - f'_{ii} \cos \alpha_1) \sin \alpha_2}{f'_{ii} \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2}, \quad (2)$$

де h_i - положення i -ї частки в шарі відносно його поверхні, м; α_1, α_2 - кут нахилу завантажувального лотка і поверхні откоосу шару, град; f'_{ii}, f'_{2i} - коефіцієнт тертя скочування частки по поверхні завантажувального лотка і откоосу шару; l_1 - довжина завантажувального лотка, м.

Для кількісної оцінки сегрегації шихти у шарі запропонований коефіцієнт розподілу фракцій

$$K_p = \frac{\Delta d_{cpi}}{\Delta h_i}, \quad (3)$$

де Δd_{cpi} - зміна середнього діаметру фракцій сипучого матеріалу по висоті шару, мм; Δh_i - висота досліджуемого шару, м.

Для верхньої половини шару шихти, яка завантажується барабанним пристроєм на аглофабриці ЗМК "Запоріжсталь" величина K_p становить 3,75 мм/м, для нижньої - 9,25 мм/м. При завантаженні сипучого матеріалу з допомогою вібраційного пристрою значення коефіцієнтів розподілу значно вищі,

ніж у першому випадку, і становлять для верхньої половини шару 14,0 мм/м, для нижньої - 19,5 мм/м. Середній розмір часток шихти на нижній ділянці шару змінився з 5,3 до 6,25 мм, тоді як у його верхній половині зміна середнього діаметра часток більш значна - від 4,13 мм у першому випадку, до 2,3 мм - у другому.

Аналіз умов підготовки агломераційної шихти до спікання показав, що головні закономірності формування шару полідисперсного матеріалу, встановлені теоретичним шляхом, незмінні для різних виробничих умов. Характеристики сипучого матеріалу підпадають під значний вплив випадкових факторів і вимагають у кожному конкретному випадку відповідних експериментальних досліджень.

3. РУХ І ВЗАЄМОДІЯ СИПУЧИХ МАС ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ, ЗМІШУВАННІ ТА ОКОМКУВАННІ

3.1. Спільні закономірності руху матеріалів у технологічних агрегатах

Процеси, які протікають у сипучих матеріалах, потрібно розглядати з урахуванням їх подвійного характеру - як єдиного тіла і як маси часток, яка не має сталої форми. Відповідно, результуючий вектор руху маси матеріалу в технологічних агрегатах повинен включати дві складові частини

$$\vec{V}_{\Sigma} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2,$$

де V_1 , V_2 - вектора, які характеризують рух маси сипучого матеріала, представлені як єдине тіло і як рідина, м/с.

Відповідно прийнятому підходу, у горизонтальних циліндричних змішувачах і окомкувателях ($\alpha = 0$) рух сипучого матеріалу відповідає характеристикам, аналогічним параметрам руху рідини - швидкості розподілу окремих часток по довжині агрегата - $\vec{V}_{\Sigma} = \vec{V}_2$ при $\vec{V}_1 = 0$.

Зростання кута нахилу осі обертання відносно розвантажувального края агрегата приведе до якісних змін умов руху і суттєвому підвищенню швидкості пересування матеріала у грануляторі.

У грануляторах з $\alpha \geq 0$ кінцевий продукт (кондиційна фракція) окремо не виводиться з зони окомкування, тому процес грануляції повністю завершитися не може, і в окомкованому матеріалі завжди буде присутня якась кількість некондиційної фракції.

При $\alpha < 0$ складові результуючого вектора \bar{V}_Σ мають різні знаки, що приводить до зміни умов руху окремих гранул, в залежності від їх фізичних якостей і відтворює передпосилки для розподілу полідисперсного матеріалу по фракціям. Відповідно, при виборі потрібного кута нахилу осі обертання агрегата, з області окомкування буде безперервно виводитись тільки кондиційна фракція, що створює умови для ведення процесу грануляції до повного завершення.

3.2. Структуротворення і рух матеріалів у бункерах

Подвійність фізико-механічних якостей сипучого матеріалу у значній мірі проявляється при русі у бункерах і проходженні через елементи дозуючих пристроїв. У разі, коли площа випускного отвору менша за її критичне значення, у нижній частині бункера з'являється стійке склепіння, що перешкоджає вихіді матеріалу. Якщо розміри випускного отвору більше критичних, у бункері под ним виникає нестійке склепіння, виконуюче роль регулятора витрачання матеріалу, який подається у підсклепінний простір. Матеріал поступає окремими об'ємами, через інтервали часу, які тратаються на формування склепіння. Коли розміри випускного отвору перевищують верхнє критичне значення для матеріалу, склепіння не виникає і його маса рівномірно поступає у область над робочим елементом дозатора, а режим витікання зближується по своїм показникам з гідравлічним.

Зроблені висновки підтверджені результатами експериментальних досліджень, проведених у виробничих умовах аглофабрики ЗМК "Запоріжсталь" і фабрики окомкування Лебединського ГЗК. Встановлено, що ефективним напрямком зниження сегрегації фракцій полідисперсного матеріалу і підвищення рівномірності його витікання через розвантажувальний отвір, є стабілізація його рівня у діапазоні 0-0,4 об'єму бункера.

3.3. Моделювання розподілу матеріалу поміж бункерами

Умови руху матеріалу у приймальних бункерах поточно-транспортних систем (ПТС) агломераційного виробництва досліджено шляхом моделювання завантаження крайніх агрегатів, які знаходяться у найбільш важких умовах роботи

$$\left. \begin{aligned} t_{2i} + t_d &= t_{oi} \\ t_{2n} + t_d &= t_{oi} \end{aligned} \right\}$$

де t_{2i} - час завантаження i -го бункера, с; t_{oi} - час розгрузки i -го бункера, с; t_d - час руху механізму розподілу матеріалу від B_1 до B_n , с.

Результати моделювання показують, що стабільна робота ділянки приймальних бункерів може бути досягнута при виконанні умови

$$t_{d \max} \geq t_{d \text{тек}} \geq t_{d \min}$$

$$\text{де } t_{d \max} = \frac{Q_{\text{НУ}}(q_n - q_{\text{аср1}} - q_{\text{асрн}}) - t_n q_{\text{асрн}}(q_n - q_{\text{аср1}})}{q_{\text{асрн}}(q_n - 2q_{\text{аср1}})}$$

$$t_{d \min} = \frac{(Q_{\text{ВУ}} - Q_{\text{НУ}})(q_n - q_{\text{аср1}} - q_{\text{асрн}})}{q_{\text{асрн}} q_{\text{аср1}}}$$

де $Q_{\text{НУ}}$ - мінімальна кількість матеріалу у бункері, яка відповідає рівню нижнього сигналізатора, м³; $Q_{\text{ВУ}}$ - максимальна кількість матеріалу у бункері, яка відповідає рівню верхнього сигналізатора, м³; q_n - продуктивність шихтового відділення аглофабрики, м³; $q_{\text{аср1}}$ - середня продуктивність дозатора i -го бункера, м³; t_n - час завантаження i -го бункера після досягнення поверхню матеріала нижнього рівня (задається передчасно), с.

3.4. Рух і взаємодія полідисперсних матеріалів у барабаних та тарільчатих грануляторах

Аналіз роботи тарільчатих грануляторів виконано із використанням математичного опису руху окремого тіла у агрегаті, який обертається

$$mg \sin \alpha \sin \beta_1 = f_1' (mV_0^2/R + mg \sin \alpha \sin \beta_1 + mg \cos \alpha \sin \beta_1),$$

де m - маса частки, кг; α - кут нахилу гранулятора до горизонталі, град; R - радіус тарільчатого гранулятора, м; V_0^2 - лінійна швидкість обертання гранулятора, м/с; f_1' - коефіцієнт тертя скаткування частки по поверхні, гранулятора; β_1 - кут під'йому частки у грануляторі, град.

Для інтенсифікації роботи тарільчатого гранулятора кондиційна фракція (+10 мм) повинна підніматися на кут $\beta_1=90$ град, а мілка - досягати кута $\beta_1=180$ град.

У роботі встановлений кут нахилу тарілі, який забезпечує ефективне накатування мілкої фракції на велику

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_{11}' f_{12}' (2 + \sqrt{f_{12}'})}{f_{11}' \sqrt{f_{12}'} + 2 f_{11}' f_{12}' + f_{11}' f_{12}' \sqrt{f_{12}'} + f_{12}' \sqrt{f_{12}'}}.$$

де f_{11}' , f_{12}' - коефіцієнти тертя скачування по внутрішній поверхні гранулятора кондиційної (+10мм) і комкуємої (-1мм) фракцій матеріала.

Барабанні агрегати розглянуті з точки зору особливостей руху сипучих мас, як поверхні кінцевого розміру. У поперечному розтині барабанного агрегату рух представлений переміщенням рухомого потоку (миттєво рухомої маси) по нерухомій масі матеріала.

Механізм окомкування запропоновано характеризувати двома зустрічними процесами: зростанням гранул і їх руйнуванням. Фракції матеріалу, які приймають участь у окомкуванні, можна розділити на дві групи: комкуємі (-1мм) і комкуючі (+1мм), стан процесу характеризується вмістом цих фракцій у сипучій масі

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{1cp} &= K_1 \Sigma \left(\frac{M_1' - M_1''}{2} \right), \\ \Delta_{2cp} &= K_2 \Sigma \left(\frac{M_2' - M_2''}{2} \right), \\ \Delta_{3cp} - \Delta_{2cp} &= \frac{M_1' - M_1''}{\tau_{p1}}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $K_{1\Sigma}$, $K_{2\Sigma}$ - коефіцієнти швидкості формування комкуємої і комкуючої фракцій, 1/с; M'_1 , M'_2 - вміст комкуємої і комкуючої фракцій у первинному матеріалі, %; M''_1 , M''_2 - вміст комкуємої і комкуючої фракцій у матеріалі після досягнення процесом рівноваги, %;

$$K_{1\Sigma} M''_1 = K_{2\Sigma} M''_2, \quad (5)$$

$\Delta_{i\text{ср}}$ - середня швидкість зміни кількості i -ї фракції за час окомкування, %/с; τ_{p1} - час досягнення процесом окомкування рівноваги, с.

Відношення $K_{1\Sigma}$ і $K_{2\Sigma}$ є константою рівноваги процесу окомкування K_p . Аналіз експериментальних даних, отриманих на барабані-окомкувателі агломації № 1 ЗМК "Запоріжсталь" ($L_6 = 7,5$ м, $R = 1,25$ м; $\alpha = 2,5$ град; $n_6 = 8$ об/мин), показує, що значення константи рівноваги процесу характеризується нестабільністю у часі і змінюється у діапазоні 0,89 - 0,49. Приймаючи до уваги, що продуктивність окомкувателя у часі змінюється мало, виявлене явище є результатом змін фізико-механічних якостей залізородного матеріалу, який надходить.

3.5. Моделювання роботи барабаних окомкувателів

У барабаних грануляторах процес окомкування розподіляється на два етапи: зростання розмірів часток комкуючої фракції, який протікає на ділянці подачі води, і стабілізація гранулометричного складу окомкованого матеріалу, яка закінчується встановленням рівноваги між зустрічно протікаючими процесами.

Розроблені закономірності масопереносу між фракціями агломераційної шихти дозволяють аналітично описати механізм окомкування. У випадку, коли сипуча маса розподілена на три фракції (Φ_{-1} , Φ_{1-10} , Φ_{+10}), ця залежність має вигляд

$$\left. \begin{aligned} M''_{-1} &= M'_{-1} - (\Delta_{12} + \Delta_{13} - \Delta_{21} - \Delta_{31})\tau_{p1}, \\ M''_{1-10} &= M'_{1-10} - (\Delta_{21} + \Delta_{23} - \Delta_{12})\tau_{p2}, \\ M''_{+10} &= M'_{+10} - (\Delta_{31} + \Delta_{23} - \Delta_{13})\tau_{p2}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де τ_{p2} - час встановлення рівноваги масопереносів між фракціями, с; Δy

- швидкість масопереносу від i -ї фракції до j -ї, %/с.

У стані рівноваги усі елементарні масопотоки також стабільні

$$\left. \begin{aligned} \Delta''_{12} + \Delta''_{13} &= \Delta''_{21} + \Delta''_{31}, \\ \Delta''_{23} + \Delta''_{13} &= +\Delta''_{31}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де Δ''_{ij} - швидкість масопереносу від i -ї фракції до j -ї у стані рівноваги процесу грануляції, %/с.

Спільне рішення (6) і (7) дозволяє встановити коефіцієнти K_i швидкості формування фракцій матеріалу, який окомковується Δy .

Аналогічно характеризується механізм взаємодії фракцій матеріалу на стадії його стабілізації.

На основі отриманих закономірностей, які характеризують взаємодію фракцій шихти у процесі її окомкування, встановлені коефіцієнти швидкості формування фракцій - 3 мм, 3-9 мм і + 9 мм та теоретично досліджений масоперенос між ними при окомкуванні матеріалу у барабанному агрегаті аглофабрики Маріупольського металургійного комбінату ім. Ільча ($L_6 = 12,0$ м, $n_6 = 6$ об/хв, $R = 1,6$ м).

Отримані висновки підтвержують результати експериментальних досліджень впливу довжини барабанного агрегату на якість окомкування шихти та її фізичні параметри, які проведені на грануляторах довжиною 6,0 м, 7,5 м та 12,0 м, радіусом 1,3-1,6 м.

4. СТРУКТУРНІ ЗМІНИ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ВУЗЛАХ АГЛОМЕРАЦІЙНИХ І ОБЖИГОВИХ МАШИН

4.1. Зміни структури шихти при завантаженні на аглострічку

Основні процеси, які протікають у різних дозуючих пристроях, запропоновано характеризувати параметрами руху сипучого матеріалу по площині кінцевого розміру.

Показано, що в залежності від розміру площини і кількості подавляємою на неї матеріалу, змінюється режим руху сипучої маси від пульсуючого, до гідравлічного, сформульовані умови, які забезпечують якісні зміни механізму руху.

Дослідження показали, що впродовж циклу вивантаження локальних об'ємів сипучого матеріалу потік буде нерівномірним. Для зниження нерівномірності сипання матеріалу з робочого органа дозатора запропоновано ряд технологічних заходів і зроблений відносний їх аналіз.

4.2. Формування шару під дією гравітаційних сил

Характер розподілу полідисперсних матеріалів по розміру в першу чергу встановлюється масовою долею трьох класів: мілкою, великою і середньою, умови сипання якого по висоті шару нестабільні. Для агломераційної шихти розміри цих фракцій становлять, відповідно, - 3 мм, + 6 мм і 3-6 мм.

Процес формування шару полідисперсних матеріалів на конвейєрних машинах, при завантаженні з допомогою системи дозатор - завантажувальний лоток, характеризується математичною моделлю (2).

Для опису розподілу фракцій шихти розміром - 3 мм запропонована емпірична залежність, яка має вигляд

$$\Phi_{-3j} = \frac{A + d_{cp\Sigma}}{d_{cpj}}$$

Розподіл фракцій розміром + 6 мм по висоті шару представлено наступною залежністю

$$\Phi_{+6j} = \frac{d_{cpj}}{B + d_{cp\Sigma}} \left(\frac{d_{cpj}}{d_{cp\Sigma}} \right)^n$$

де A, B, n - емпіричні коефіцієнти, які характеризують умови формування шару.

Для агломераційної шихти аглофобрики ЗМК "Запоріжсталь" отримані наступні значення коефіцієнтів: при завантаженні матеріалу вібраційним дозатором $A = 160,4$ мм, $B = - 4,47$ мм, $n = 1,5$; барабанним дозатором $A =$

200,0 мм, $B = - 4,55$ мм, $n = 1,0$. Для умов аглофабрики КМК значення коефіцієнтів склали: $A = 200,6$ мм, $B = - 3,91$ мм, $n = 1,5$.

Кількість фракцій 3-6 мм встановлюється, виходячи із умов матеріального балансу у заданому горизонті шару

$$\Phi_{(3-6)j} = 100\% - (\Phi_{-3j} + \Phi_{+6j}).$$

Результати моделювання сегрегації фракцій агломераційної шихти викристані для аналізу ефективності роботи різних типів завантажувальних пристроїв і оптимізації процесу формування шару шихти.

4.3. Ефективність управління сегрегацією агломераційної шихти у шарі різної висоти

При формуванні шарів полідисперсних матеріалів висотою до 0,3 м, управління сегрегацією приводить, у основі, до зміни кількості фракцій у верхній половині шару, тоді як в іншому його об'ємі ці зміни незначні. Ця особливість формування низьких шарів пояснюється дуже коротким діапазоном розподілу фракцій матеріалу, що викликає значне їх перемішування і, як наслідок, послаблення впливу управляючих дій на процес сегрегації. Зростання висоти шару до 0,35-0,4 м, особливо при невеликих кутах нахилу завантажувального лотка (46 - 49 град.), приводе до незначного зниження вмісту твердого палива у верхній половині шару, що допомагає збереженню температурно-теплових умов спікання на цих горизонтах.

Аналіз умов формування об'ємних структур полідисперсних матеріалів для різних режимів завантаження показує, що при зростанні кута нахилу завантажувального лотка розподіл фракцій - 3 мм та + 6 мм має незначні зміни. Більш суттєва сегрегація фракції 3 - 6 мм по висоті шару. При куті нахилу завантажувального лотка, близько до кута природного откоосу шихти ($\alpha_1 = 46$ град.), розподіл фракції 3 - 6 мм наближається до рівномірного; по мірі зростання кута нахилу основна маса фракції 3 - 6 мм переміщується у нижню половину шару, висотою 0,25 - 0,3 м. При висоті шару 0,36 - 0,4 м перерозподіл фракції 3 - 6 мм менш помітний.

Досліди розподілу палива і основності у шарах різної висоти виповнено з використанням моделей $C_j = f(C_{cp}, d_j)$, $Ocn_j = f(Ocn_{cp}, d_j)$. Встановлено, що зростання кута нахилу завантажувального лотка викликає підвищення вмісту палива і основності у верхніх горизонтах шару будь якої висоти.

Як видно із аналізу отриманих результатів, практично у всіх випадках зростання кута нахилу завантажувального лотка викликає підвищення витрат тиску повітря, який фільтрується через шар. Особливо видно зміни газодинамічного опору сипучої маси у її нижніх горизонтах. Поліпшення газодинамічних характеристик шару шихти, яке має місце при невеликих кутах нахилу завантажувального лотка, супроводжується погіршенням умов розподілу основності і твердого палива по його висоті.

5. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ЗАЛІЗОРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО ОКУСКУВАННЯ

5.1. Технологічний розрахунок окомкувателів агломераційної шихти

У барабанних грануляторах сипуча маса переміщується і комується одночасно. В зв'язку з цим при розрахунках потрібно брати до уваги не тільки якість матеріалу, але і конкретні умови його окомкування.

Кількість матеріалу у барабані становить

$$Q_M = \xi Q_B / 100\%, \quad (8)$$

де ξ - ступінь заповнення барабана матеріалом, %; Q_B - внутрішній об'єм гранулятора, м³.

Продуктивність гранулятора по кондиційній фракції дорівнює

$$q_{ок} = Q_M V_k, \quad (9)$$

де V_k - швидкість окомкування матеріалу при заданих технологічних умовах, 1/с.

Задаючись величиною q_{ak} і знаючи V_k , можна розрахувати необхідну для забезпечення потрібної продуктивності агрегату по кондиційній фракції величину Q_M

$$Q_M = q_{ak} / V_k \quad (10)$$

По відомій ступені заповнення агрегату, необхідній для його стабільної роботи, встановлюємо величину Q_b із (8). Звідси, при заданій R , n_b , α_b , розраховуємо його довжину

$$L_i = Q_b / \pi R^2$$

Основними параметрами тарільчатого гранулятора, які встановлюють якість його роботи, є діаметр тарілі, кут нахилу, швидкість обертання і висота борта.

Для раціонального використання поверхні тарільчатого гранулятора, об'єм матеріалу, який у ньому знаходиться, повинен становити половину об'єму агрегату

$$Q_M = \pi D^2 h / 8 \quad (11)$$

Підставляючи у (11) значення Q_M із (9), маємо

$$\frac{q_{ak}}{V_k} = \frac{\pi D^2 h}{8}$$

Задаючись діаметром тарільчатого агрегату (D), встановлюємо необхідну для його стабільної роботи висоту борта (h)

$$h = 8q_{ak} / \pi D^2 V_k$$

5.2. Технологічні основи управління ПТС

Встановлення оптимальних розподілів дозволяє скласти систему рівнянь, які характеризують її зміст у різних фракціях матеріалу.

Для синхронної роботи спікального і шихтового відділень аглофабрики необхідно, щоб за час циклу руху механізму розподілу шихти (t_u), кількість матеріалу у приймальних бункерах залишилась без зміни

$$\Delta Q = \int_0^{t_u} q_n dt - \sum_{i=0}^n \int_0^{t_u} q_{oi} dt,$$

де q_n - продуктивність шихтового відділення, м³/с; q_{oi} - продуктивність i -ї машини по шихті, м³/с.

У роботі досліджено циклічний, послідовний і у порядку виклику під завантаження режими розподілу матеріалу між бункерами, виконаний аналіз їх ефективності.

Показано, що у приймальних бункерах, при стабільному режимі роботи, мають місце періодичні зміни кількості матеріалу, амплітуда яких залежить від кількості бункерів, продуктивності агрегатів і вибраного режиму роботи.

5.3. Алгоритми управління ділянкою приймальних бункерів

В умовах балансу між продуктивностями відділень аглофабрики можлива реалізація різних технологічних критеріїв руху розподільчого пристрою:

$$t_u = \text{const}; t_{oi} = \text{const}; t_{zi} = \text{const}; \Delta Q_i = \text{const},$$

де t_u - час циклу руху розподільчого пристрою, с; t_{zi} , t_{oi} - час завантаження і спорожніння кожного бункера, с; ΔQ_i - амплітуда коливань кількості матеріалу у бункерах, м³.

Для порівняння технологічних характеристик різних режимів розподілу матеріалів між бункерів з допомогою часткових похідних встановлена ступінь впливу нестабільності продуктивності агрегатів ($q_{вспi}$) і шихтового відділення аглофабрики (q_n) на амплітуду змін кількості матеріалу у бункерах (ΔQ_i) і час циклу розподілу (t_u). Технологічним вимогам до якості роботи дільниці приймальних бункерів агломашин найбільш відповідає режим розподілу матеріалів з $\Delta Q_i = \text{const}$.

6. Удосконалення роботи завантажувальних вузлів агломераційних машин

6.1. Розрахунок і дослідження структури шару шихти

Даними для розрахунку режиму роботи завантажувального вузла і параметрів шару, який формується, є його висота h_{ca} , фізико-хімічні характеристики підготовленого до спікання матеріалу f'_{ii} , f''_{ii} , f_{ii} , $C_{ср}$, $O_{сн,ср}$, $C_i = f(d_{срi})$, $O_{сн_i} = f(d_{срi})$, його гранулометричний склад $\Phi_{i..}$.

Оптимальний розподіл палива по висоті шару $C_j = f(h_j)$, який відповідає максимальній міцності агломерату, встановлено дослідним шляхом, в умовах аглофабрики ЗМК "Запоріжсталь".

Як видно із аналізу результатів дослідів, для умов роботи з підвищеним шаром шихти, максимальна міцність агломерату спостерігається при скупченні у його верхній половині 5,33 % палива, у нижній - 2,85 %. Це досягається при куті нахилу завантажувального лотка $\alpha_1 = 46-49$ град.

Встановлено, що умови розподілу палива мають підвищену дію на металургійні якості агломерату порівняно з газопроникністю.

На основі математичних моделей, які характеризують закономірності формування структури шару полідисперсного матеріалу, і експериментально отриманих даних, розроблений і впроваджений на ЕОМ алгоритм оптимізації структури шару шихти. Оптимізація умов формування структури шару шихти зводиться до розрахунку величини управляючого впливу (у найбільш розповсюдженому випадку, кута нахилу завантажувального лотка), який забезпечує потрібний розподіл палива по його висоті. Змінюючи структуру агломераційної шихти у заданому діапазоні, можливо встановити умови роботи завантажувального лотка, які забезпечують мінімальні витрати тиску повітря, що фільтрується через шар шихти $\Delta P_{\zeta min}$.

Встановлений оптимальний розподіл палива і основності по висоті шару дозволяє скласти систему рівнянь, які характеризують їх вміст у різних фракціях агломераційної шихти.

$$\left. \begin{aligned}
 C_1 \Phi_{11} + C_2 \Phi_{21} + C_3 \Phi_{31} &= C_{1\Sigma}, \\
 C_1 \Phi_{12} + C_2 \Phi_{22} + C_3 \Phi_{32} &= C_{2\Sigma}, \\
 \text{-----} \\
 C_1 \Phi_{1j} + C_2 \Phi_{2j} + C_3 \Phi_{3j} &= C_{j\Sigma}, \\
 \text{-----} \\
 Ocn_1 \Phi_{11} + Ocn_2 \Phi_{21} + Ocn_3 \Phi_{31} &= Ocn_{1\Sigma}, \\
 Ocn_1 \Phi_{12} + Ocn_2 \Phi_{22} + Ocn_3 \Phi_{32} &= Ocn_{2\Sigma}, \\
 \text{-----} \\
 Ocn_1 \Phi_{1j} + Ocn_2 \Phi_{2j} + Ocn_3 \Phi_{3j} &= Ocn_{j\Sigma},
 \end{aligned} \right\} (12)$$

де $C_{j\Sigma}$ - середній вміст палива на j -му горизонті шару, %; C_i - середній вміст палива в i -й фракції шихти, %; $Ocn_{j\Sigma}$ - середня основність j -го горизонту шару; Ocn_i - середня основність i -й фракції шихти.

Вирішуючи отримані системи рівнянь відносно C_i і Ocn_i , встановлюємо оптимальні для даних технологічних умов закономірності їх розподілу у фракційному складі залізородного матеріалу $C_{iopt} = f(d_{cpi})$ і $Ocn_{iopt} = f(d_{cpi})$ і робимо висновки відповідно раціональних способів підготовки і подачі палива і флюсів у шихту.

У роботі виконаний розрахунок оптимальних характеристик шару агломераційної шихти і параметрів завантажувального лотка відповідно до технологічних умов ЗМК "Запоріжсталь".

Експериментально встановлена величина середнього діаметру часток шихти, яка забезпечує мінімум виходу фракції агломерату - 5 мм. Дослідами з монодисперсними і полідисперсними шихтами встановлено, що у обох випадках оптимальний розмір часток становить 4,3 - 5,4 мм.

Вплив фракційного складу шихти на умови формування структури шару посилюється по мірі підвищення його висоти. В низьких шарах (0,2 - 0,25 м) оптимальний кут нахилу завантажувального лотка не залежить від фракційного складу шихти і становить кут природного откосу матеріалу, який завантажується.

6.2. Вдосконавлення завантаження шихти на аглострічку

З метою поліпшення технологічних характеристик завантажувальних лотків у роботі запропоновані пристрої із змінним кутом нахилу робочої поверхні і тертям на нижній ділянці руху. Показано, що використання лотків із змінними характеристиками забезпечує потрібну сегрегацію фракцій шихти при поліпшенні стабільності технологічних показників завантажувальних вузлів.

Розглянуті закономірності руху полідисперсного матеріалу по складній поверхні використані для розрахунку параметрів завантажувального лотка, встановленого разом із вібраційним дозатором на агломашинах ЗМК "Запоріжсталь".

Промислова експлуатація завантажувального лотка показала значне підвищення стабільності потоку шихти, яка завантажується на аглострічку, при зниженні насипної маси матеріалу, у середньому, на 6,2 %. Кількість фракції - 3 мм у верхньому горизонті шару (0 - 0,1 м) підвищилась з 54,3 % до 59,6 % порівняно зі схемою завантаження "вібраційний дозатор - завантажувальний лоток". Середній вміст палива на цих горизонтах виріс з 5,2 % до 5,66 %. Це дозволило зменшити витрати твердого палива, що подається у шихту, на 1,04 %. Реальний економічний ефект від впровадження складного завантажувального лотка складає 104,7 тис. крб. на одній агломашині у цінах 1990 року.

6.3. Встановлення раціональних значень геометричних параметрів

криволінійного завантажувального лотка агломашини

Розроблена конструкція завантажувального лотка з криволінійною робочою поверхнею, що забезпечує початковий розгін часток шихти з наступним гальмуванням на більш пологій ділянці.

В основу розрахунку покладена теорема про зміни кінетичної енергії тіла, що рухається

$$\frac{dy}{d\beta} - 2f_{ii}y = 2gR(f_{ii} \cos \beta - \sin \beta),$$

де f_{ii} - коефіцієнт тертя скатування i -ї частки по поверхні лотка; R - радіус вигибу лотка, м; $y = V_{ci}^2$; V_{ci}^2 - швидкість скатування i -ї частки по поверхні лотка, м/с; β - кут сходу частки з лотка, рад.

Встановлено, що рішення, яке відповідає реальним умовам роботи завантажувальних вузлів агломашин, може бути отримано для лотків невеликої висоти ($h = 0,5 - 0,6$ м). Практичне використання коротких лотків потребує реконструкції діючих завантажувальних вузлів в зв'язку з чим запропоновано завантажувальний лоток із змінним радіусом кривизни робочої поверхні. Розроблена методика розрахунку елементів криволінійних завантажувальних лотків, встановлені умови їх оптимізації.

6.4. Керування завантажувальними лотками агломерацийних машин

Ефективне керування сегрегацією часток шихти може здійснюватись шляхом ціленаправленої зміни кута нахилу завантажувального лотка. Для стабілізації заданого розподілу часток шихти по висоті шару розроблена система керування, споряджена датчиком гранулометричного складу матеріалу, керуючим блоком і виконавчим механізмом, який змінює кут нахилу завантажувального лотка.

Запропоновано стабілізувати газодинамічні характеристики шару шихти шляхом контролю і керуванням величиною його усадки. Розроблена експериментальна система керування завантаження шихти на аглострічку, регулятор якої змінює положення завантажувального лотка у напрямі мінімізації величини усадки шару, яка контролюється датчиками висоти шару, які встановлені до і після запалювального горна.

Для стабілізації технологічних параметрів тракту подачі шихти на аглострічку розроблені системи керування рівнем матеріалу у промбункері агломашини і висотою откосу на завантажувальному лотку.

У результаті промислової експлуатації системи в умовах аглофабрики комбінату "Запоріжсталь" встановлено, що годовий економічний ефект складає на 6-ти агломашинах 180,0 тис. крб. у цінах 1990 року.

Системи керування висотою откосу впроваджені на агломашині № 11 Маріупольського металургійного комбінату ім. Ільча і агломашині № 6 Комунарського металургійного комбінату.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ

Дисертаційна робота присвячена важливій народногосподарській проблемі - підвищенню ефективності підготовки металургійної сировини до доменого процесу. Головним напрямком її рішення є розробка технологічних основ удосконалення підготовки залізородних матеріалів до окусування.

Основні висновки із результатів роботи наступні:

1. Склад і міцність агломерату встановлюється закономірностями розподілу по висоті шару фракційного складу підготовленого матеріалу, флюсів і палива.
2. У результаті аналізу умов змін якостей агломераційної шихти по висоті шару встановлені узагальнені закономірності і розроблені моделі, які характеризують вплив сегрегації гранулометричного складу на вміст палива і основність різних горизонтів шару.
3. Запропонований і теоретично обґрунтований підхід до оптимізації макроструктури шару агломераційної шихти, який має достатнє узагальнення по відношенню до різних агломераційних машин і дозволяє у конкретних умовах встановити найбільш раціональний режим роботи технологічного устаткування.
4. Розроблена модель формування макроструктури шару полідисперсного матеріалу, що будується на механізмі взаємодії сипучих мас в процесі руху по похилій площині із змінними характеристиками.
5. Розроблені моделі сегрегації фракцій - 3 мм, 3 - 6 мм, + 6 мм по висоті шару, які використовуються для прогнозування умов формування структури агломераційної шихти на аглострічі і розрахунку її газодинамічних характеристик.
6. У результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що ефективність керування сегрегацією агломераційної шихти підвищується разом з висотою шару. Головний вплив зміна положення завантажу-

вального лотка вчиняє на розподіл фракції 3 - 6 мм по висоті шару, який формується.

7. Порівняння характеристики різних пристроїв для впровадження направленої сегрегації полідисперсних матеріалів обумовило висновок про перспективність використання для керування процесом формування шару завантажувального лотка із змінними характеристиками.
8. Рух матеріалу у бункерах є слідством виникнення локальних розривів у їх масі, які переміщуються у напрямі, зворотньому руху. Зниження сегрегації гранулометричного складу матеріалу, який вивантажується із бункерів, досягається при стабілізації рівня їх заповнення у діапазоні 0 - 40 %.
9. Стабільна робота дільниці бункерів ПТС спостерігається при умові знаходження у чітко заданих діапазонах продуктивності дозаторів і рівней, на яких встановлені сигналізатори їх заповнення.
10. Технологічним умовам до якості роботи дільниці приймальних бункерів найбільш відповідає алгоритм розподілу сипучих матеріалів із постійною зміною їх кількості ($\Delta Q_i = const$).
11. Сипуча маса, яка знаходиться у барабанному агрегаті, розподіляється на дві частини - миттєво нерухому і миттєво рухому, які відрізняються фізико-механічними якістьями і механізмом дії на них параметрів процесу.
12. Процес окомкування у барабаних агрегатах продовжується до досягнення стану рівноваги, який встановлюється по припиненню змін вмісту фракцій у матеріалі.
13. Барабанні гранулятори можуть працювати у двох режимах: при постійному заповненні ($\zeta = const; q_v = var$) чи продуктивності ($\zeta = var; q_v = const$). Різниця між режимами роботи встановлюється кількістю матеріалу у барабані, кутом нахилу осі обертання і продуктивністю.
14. Конструктивні параметри грануляторів встановлюються потрібною продуктивністю і фізико-хімічними якістьями матеріалу.
15. Результати досліджень завантаження шихти на конвейерні машини використані при вдосконаленні технології формування структури шару залізородного матеріалу на аглофабриці Запорізького металургійного ком-

бінату, де встановлені складні завантажувальні лотки і системи керування трактами шихтопідготовки.

Промислова експлуатація складного завантажувального лотка показала, що стабільність потоку шихти, яка завантажується на аглострічку, значно зросла, при зниженні насипної маси матеріала, у середньому, на 6,2 %. Кількість фракції - 3 мм у верхніх горизонтах шару (0 - 100 мм) зросла з 54,3 % до 59,6 %, порівняно із традиційною схемою завантаження - "вibraційний дозатор - завантажувальний лоток". Середній вміст палива на цьому горизонті зріс з 5,2 % до 5,66 %. Це дозволило скоротити витрати твердого палива, яке подається у шихту, на 1,04 %. Порівняний аналіз роботи агломашин №№ 2 і 5 ЗМК "Запоріжсталь", які знаходяться у однакових технологічних умовах, показав підвищення продуктивності а/м № 5 порівняно з традиційною системою завантаження (а/м № 2) на 6,22 % (відн.). Реальний економічний ефект від втілення складного завантажувального лотка на аглофабриці ЗМК "Запоріжсталь" становив 628 тис. крб. у цінах 1990 року.

Алгоритми керування дільницями приймальних бункерів ПТС використані у АСУ фабрики окомкування Лебединського ГЗКу.

Основний зміст дисертації відображено у публікаціях:

1. Пазюк М.Ю. Анализ работы систем управления распределением сыпучих материалов между бункерами. // Известия вузов. Черная металлургия, 1988. - № 12 - с. 105-109.
2. Пазюк М.Ю. Исследование механизма движения сыпучих масс в бункерах. // Известия вузов. Черная металлургия, 1989. - № 4. - с. 120-124.
3. Пазюк М.Ю. Моделирование процесса движения сыпучих материалов в технологических агрегатах. // Известия вузов. Черная металлургия, 1986. - № 2. - с. 120-124.
4. Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Гирич В.П., Шаповаленко В.В. Расчет параметров системы распределения материалов между бункерами. // Известия вузов. Черная металлургия. 1990. - № 9. с. 14-16.
5. Пазюк М.Ю., Сальников И.М. Анализ работы магнитного классификатора железорудных материалов. В сб. "Интенсивная механическая технология сыпучих материалов", г. Иваново, ИХТИ, 1990. - с 88-91.

6. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Выбор рациональных параметров цилиндрического окомкователя // Известия вузов. Черная металлургия, 1982 - № 10. - с. 30-33.
7. Исследование работы барабанного окомкователя / Гранковский В.И., Зинченко Ю.М., Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н. // Известия вузов. Черная металлургия, 1979. - № 12. - с. 12-15.
8. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Выбор рациональных параметров смесителей агломерационной шихты. // Известия вузов. Черная металлургия, 1983. - № 8. - с. 3-4.
9. Пазюк М.Ю. Анализ движения сыпучего материала по плоскости ограниченного размера. // Известия вузов. Черная металлургия, 1989. - № 7. - с. 136-139.
10. Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Сыромьяский В.А. Управление агломерационным процессом - Киев, Техника. - 1988. -143 с.
11. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И., Туровцев Г.В. Особенности формирования слоя полидисперсного сыпучего материала // Известия вузов. Черная металлургия, 1983. - № 10. - с. 13-16.
12. Пазюк М.Ю., Сальников И.М. Совершенствование управления поточно-транспортными системами (ПТС) сыпучих материалов. В кн. Труды четвертой международной научно-технической конференции "Прикладные аспекты современной теории автоматизации", секция 4, Киев, КПИ, 1990. - с. 70-74.
13. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И., Полещук А.А. Исследование работы приемных бункеров агломаши. // Известия вузов. Черная металлургия, 1984. - № 4. - с. 9-11.
14. Исследование свойств окомкованной шихты при транспортировке и загрузке на аглоленту. / Половой П.А., Пазюк М.Ю., Гранковский В.И., Зинченко Ю.М. // Металлургия, 1987. - № 8. - с. 9-11.
15. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Исследование сегрегации шихты в приемных бункерах агломашины. // Известия вузов. Черная металлургия, 1983. - М 6. - с. 127-129.
16. Вопросы оптимизации загрузки шихты в промежуточный бункер. / Половой П.А., Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н. // Известия вузов. Черная металлургия, 1978. - № 6. - с. 28-31.
17. Пазюк М.Ю., Шаповаленко В.В. Моделирование движения материалов в бункерах поточно-транспортных систем В кн. "Базы физико-химических и технологических данных для оптимизации металлургических технологий", Курган, Полиграфия, 1990. - с 142-144.
18. Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н. Исследование физико-механических свойств агломерационной шихты. // Известия вузов. Черная металлургия, 1980. - № 10. - с. 15-17.
19. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Управление загрузкой приемных бункеров агломаши. // Известия вузов. Черная металлургия, 1984. № 12. - с. 106-109.
20. Пазюк М.Ю. Распределение сыпучих материалов между бункерами с помощью плужковых сбрасывателей. // Известия вузов. Черная металлургия, 1988. - № 5. - с. 131-135.

21. Пазюк М.Ю. Анализ работы систем управления распределения сыпучих материалов между бункерами. // Известия вузов. Черная металлургия, 1988. - № 12 - с. 105-109.
22. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Алгоритмы распределения агломерационной шихты между бункерами при циклической загрузке. // Известия вузов. Черная металлургия, 1984. - № 12, - с. 116-119.
23. Пазюк М.Ю. Исследование эффективности алгоритма распределения сыпучих материалов между бункерами. // Известия вузов. Черная металлургия, 1986. - № 12. - с. 115-116.
24. Пазюк М.Ю. Выбор устройств контроля уровня для САУ загрузкой приемных бункеров. // Известия вузов. Черная металлургия, 1985. - № 6. - с. 133-135.
25. Пазюк М.Ю. Исследование движения сыпучего материала в поперечном сечении цилиндрического окомкователя. // Известия вузов. Черная металлургия, 1987. - № 6. - с. 136-138.
26. Пазюк М.Ю. Массоперенос при грануляции железорудных материалов. // Известия вузов. Черная металлургия, 1990. - № 4. - с. 8-10.
27. Пазюк М.Ю. Моделирование технологических процессов в гранулирующих агрегатах. // В кн. "Интенсификация процессов окускования рудных материалов". / Киев, Наукова думка. - 1987. - с. 148-152.
28. Пазюк М.Ю. Моделирование работы барабанных окомкователей // Известия вузов. Черная металлургия, 1985. - № 4. - с. 93-97.
29. Влияние сегрегации шихты в слое на работу агломашины. / Зинченко Ю.М., Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н. // Известия вузов. Черная металлургия, 1979. - № 4. - с. 125-127.
30. Пазюк М.Ю. Влияние условий загрузки и формирование структуры слоя шихты. // Известия вузов. Черная металлургия, 1985. - № 6. - с. 133-136.
31. Пазюк М.Ю. управление процессом формирования слоя агломерационной шихты. // Известия вузов. Черная металлургия, 1985. - № 10. с. 131-134.
32. Пазюк М.Ю. Моделирование закономерностей распределения фракций агломерационной шихты по высоте слоя. // Известия вузов. Черная металлургия, 1987. - № 4. - с. 142-145.
33. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Исследование сегрегации топлива в слое шихты. // Известия вузов. Черная металлургия, 1982. - № 12. - с. 6-8.
34. Классификация сыпучего материала на движущейся наклонной плоскости / Пазюк М.Ю., Гирич В.П., Сальников И.М., Гузь Ю.Д. // Известия вузов. Черная металлургия, 1990. - № 12 - с. 6-7.
35. Влияние режимов подготовки и выгрузки шихты на прочность агломерата / Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н., Насонов В.М. - В сб. "Теплотехника и газодинамика агломерационного процесса", Киев, Наукова думка, 1983. - с. 39-42.
36. Гранковский В.И., Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н. Влияние тракта загрузки на прочность агломерата. - В сб. "Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке", Днепропетровск, ДМетИ. - 1980. - с. 39-40.
37. Пазюк М.Ю., Гирич В.П. Моделирование процесса формирования слоя полидисперсного сыпучего материала. // Известия вузов. Черная металлургия, 1991. - № 12. - с. 75-78.

38. Пазюк М. Ю., Гирич В.П. Оптимизация газодинамических характеристик слоя агломерационной шихты. В кн. "Теплотехнология металлургического производства". Сб. научных трудов, Киев, УМКВО, 1988. - с. 29-31.
39. Пазюк М.Ю., Сальников И.М. Взаимодействие железорудных масс при смешивании и окомковании. // Известия вузов. Черная металлургия, 1991, № 22, - с. 7-9.
40. Пазюк М.Ю. Расчет параметров тарельчатых грануляторов, // Известия вузов. Черная металлургия, 1987. - № 10. - с. 118-121.
41. Пазюк М.Ю. Определение рациональных значений геометрических параметров криволинейного загрузочного лотка агломашины. // Известия вузов. Черная металлургия, 1988. - № 6. - с. 135-139.
42. Зинченко Ю.М., Пазюк М.Ю. САУ окомкованием агломерационной шихты. // Известия вузов. Черная металлургия, 1986. - № 4. - с. 119-121.
43. Зинченко Ю.М., Пазюк М.Ю. Измерение гранулометрического состава окомкованной шихты СВЧ-прибором. // Механизация и автоматизация производства, 1985. - с. 23-29.
44. Контроль гранулометрического состава окомкованной шихты. / Пазюк М.Ю., Николаенко А.Н., Гранковский В.И., Насонов В.М. // Известия вузов. Черная металлургия, 1981. - № 12. - с. 4-8.
45. Пазюк М.Ю., Гранковский В.И. Автоматическое управление загрузкой шихты на аглоленту. // Автоматизация и механизация производства, 1983. - № 4, - с. 16-17.
46. А.с. № 746452 /СССР/. устройство для регулирования уровня шихты в промежуточном бункере агломерационной машины. // Половой П.А., Гранковский В.И., Николаенко А.Н., Пазюк М.Ю. - Оpubл. в Б.И. - № 25. - 1980.
47. А.с. № 621765 /СССР/. Система управления загрузкой шихты на аглоленту. / Зинченко Ю.М., Пазюк М.Ю., Половой П.А. і др. - Оpubл. в Б.И. - № 9. - 1978.
48. А.с. № 929720 /СССР/. Система управления загрузкой шихты на аглоленту. / Гранковский В.И., Мирошниченко И.Ю., Пазюк М.Ю., Коваль П.П. - Оpubл. в Б.И. - № 21. - 1981.
49. А.с. № 367346 /СССР/. Устройство для измерения высоты откоса агломерационной шихты. / Дримбо А.В., Ищенко А.Д., Пазюк М.Ю. - Оpubл. в Б.И. - № 8. - 1973.
50. А.с. № 499501 /СССР/. Способ непрерывного измерения уровня электропроводных материалов. / Ищенко А.Д., Пазюк М.Ю., Овсиенко А.К. - Оpubл. в Б.И. - № 2. - 1976.

Особистий внесок Пазюка М.Ю. в працях, які виконані в співавторстві:
 /4,17/ - розробка та теоретичне обґрунтування основних положень моделювання руху сипучих матеріалів у поточно-транспортних системах агломерацийних та збагачувальних фабрик; /5/ - моделювання руху сипучого матеріалу у поперечному розтині циліндричного барабана; /10/ - теоретичне обґрунтування технологічних основ і алгоритмів автоматизації агломерационного процесу; /11,29,37/ - розробка і апробація моделі формування структури шару полідисперсного сипучого матеріалу; /13,14,15,16/ - теоретичний аналіз закономірностей структуроутворення сипучих мас при їх русі через технологічні агрегати; /18,33/ - проведення експериментальних досліджень,

узагальнення отриманих результатів, розробка моделі сегрегації палива у шарі; /12,19,22/ - розробка алгоритма керування ділянкою приймальних бункерів ПТС; /34/ - моделювання руху полідисперсного матеріалу по похилій площині і обґрунтування умов його розподілу по фракціям; /35,36/ - проведення експериментальних досліджень, обробка і аналіз отриманих результатів; /38/ - розробка алгоритма оптимізації структури шару шихти аглостріці; /39/ - розробка і обґрунтування механізму взаємодії фракцій полідисперсного матеріалу при змішуванні і окомкуванні; /42,43,44/ - розробка технологічних основ і алгоритму керування окомкуванням агломерційної шихти; /45,47,48/ - розробка алгоритму керування завантаженням шихти на аглострічку; /46/ - розробка і обґрунтування принципу вимірювання рівня електропровідних матеріалів; /49/ - розробка і випробування пристроїв для вимірювання рівня откоосу агломерційної шихти; /50/ - розробка і теоретичне обґрунтування потенціометричного способу вимірювання рівня електропровідних матеріалів.

Pazyuk M.Yu. Improvement of the basic theory of controlling the structure of sinter burden and development of new methods intensify sintering.

A doktoral thesis in metallurgy of ferrous metals, speciality 05.16.02, State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

A monograf, forty four research publications and five inventors as a result of theoretical research and experimental work on the preparation of iron-bearing materials for agglomeration are to be defended.

The existence of interrelationship between the sintering machine operation, the conditions of row material preparation and the structure of its layer on pallets has been consistently proved.

The regularities of volumetric inhomogeneity formation in the iron-bearing materials during their transporting, agglomerating and loading onto conveyors have also been determined.

New methods of controlling the layer structure of sinter burden to intensify its agglomeration have been developed.

The of the thesis practical utilization in Zaporozhye metallurgical integrated plant is presented.

Пазюк М.Ю. Совершенствование теоретических основ управления структурой агломерационной шихты и разработка новых методов интенсификации ее спекания.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02. - металлургия черных металлов, Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1995.

Защищаются результаты исследований, изложенные в монографии, 44 научных работах и 5 авторских свидетельствах на изобретения, которые содержат материалы о теоретических и экспериментальных исследованиях подготовки железорудных материалов и окускованию. Установлена взаимосвязь работы агломерационных машин с условиями подготовки шихты и структурой слоя на спекательных тележках.

Определены закономерности образования объемных неоднородностей железорудных материалов в процессе их транспортировки, окомкования и загрузки на конвейерные машины.

Разработаны новые методы управления структурой слоя агломерационной шихты, обеспечившие интенсификацию ее спекания.

Приводятся результаты промышленного внедрения материалов диссертации в условиях ЗМК "Запорожсталь".

КЛЮЧОВІ СЛОВА: агломерація, завантажувальні пристрої, сегрегація шихти, грануляція, полідисперсні матеріали.

Подписано к печати 21.11.95
Формат 60*84/16. Бумага типограф. N2. Печать офсетная.
Физ. п. л. 1.9. Уч. - изд. л. 1.35. Усл. п. л. 1.52.
Тираж 50 экз. Заказ 311. Бесплатно.

Металлургический комбинат "Запорожсталь"
330008, Запорожье, Южное шоссе, 72

Определены закономерности образования объемных неоднородностей
железистых материалов в процессе их транспортировки, эксплуатации и за-
грузки на конвейерные машины.

Разработаны новые методы управления структурой слое аддитивной
печати, обеспечивающие оптимальные условия

Получены результаты проведения многократных испытаний диспер-
сии в условиях ЗМК "Запорожсталь".

КЛЮЧОВІ СЛОВА: аддитивна залатковувальна пристрої, сферична
печать, грануляція, полідисперсний матеріал.



Людмила Іванівна
Формат 60x90 мм. Друк на папері А4. Ціна 0,50 грн.
Фонд "Л. М. Мухоморова". 1998 рік. № 1-2
Тираж 50 экз. Свідоцтво № 11. Випуск № 1.

12/3/11

AB 34.289

AB 34.289