

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ЛЕБЕДЕВ Володимир Олександрович

ДОСЛІДЖЕННЯ  
ПОВЕДІНКИ ЗАЛІЗОРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ У БУНКЕРАХ  
З МЕТОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ СКЛАДУ АГЛОМЕРАТУ І  
ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

Спеціальність 05.16.02.-"Металургія чорних металів"

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата  
технічних наук

Дніпропетровськ - 1993



00814778 (Z)

Робота викопана на кафедрі металургії чорних металів  
Донбаського гірничо-металургійного інституту.

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор  
РУСАКОВ ПАВЛО ГРИГОРОВИЧ;  
доктор технічних наук, професор  
ПЕТРУШОВ СТАНІСЛАВ МИКОЛАЙОВИЧ

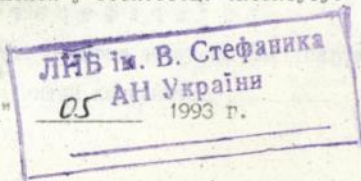
Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
ІВАЩЕНКО ВАЛЕРІЯ ПЕТРОВИЧ  
кандидат технічних наук, доцент  
МІЩЕНКО ІВАН МИТРОФАНОВИЧ

Провідне підприємство - УКРЕДІПРОМЕЗ

Захист дисертації відбудеться "29" 06 1993 г.  
о 12 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої  
вченої ради К 068.02.01 Дніпропетровського металургійного  
інституту за адресою: 320365, м. Дніпропетровськ, ГСП,  
пр. Гагаріна, буд. 4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано "28" 05 1993 г.



Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук, доцент

Ю.С. Панітов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Основними завданнями агломенного виробництва є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції і зниження її собівартості. Вирішення цих завдань може бути досягнуто головним чином за рахунок таких факторів, як розвиток промислової технології виробництва агломерату, удосконалення конструкції металургійних агрегатів, а також підвищення якості шихтової сировини.

Проблема якості сировини у нас в країні нині набула особливого значення, оскільки саме підготовка сировини для доменної плавки довгий час фінансувалась за залишковим принципом, внаслідок чого вона стала тією лімітуючою ланкою, без удосконалення якої неможливе радикальне підвищення ефективності виробництва чавуну.

У останні роки в світовій практиці особлива увага при підготовці доменної шихти приділяється проблемі усереднення залізорудної сировини як однієї з важливих стадій її підготовки до виробництва. Розв'язання проблеми усереднення дозволить істотно поліпшити техніко-економічні показники виробництва металопродукції.

Усереднення залізорудних матеріалів на восьмому шляху їх слідкування від моменту видобування руди до завантаження полуфабрикатів у доменні печі, за винятком усереднення в бункерах, вивчене досить глибоко. У зв'язку з цим і постає з усією очевидністю необхідність розгляду такого важливого питання, як усереднення сировини у бункерах.

Мета роботи. Розробка методики кількісної оцінки ефективності усереднення залізорудних матеріалів у бункерах, що дозволяє врахувати вплив характеристик матеріалу, геометричних розмірів бункерів, їх кількості і режиму завантаження - розвантаження, а також розробка оптимальної форми бункерів і режиму їх роботи для досягнення мінімальних коливань складу агломераційної шихти та агломерату.

Наукова новизна. Експериментально досліджені закономірності руху різних матеріалів у бункерах. Розроблений математичний апарат, який дозволяє описати процес руху частинок у масі шару. Розроблена методика розрахунку коефіцієнту усереднення сировини при проходженні через бункери. Вперше подана кількісна оцінка ефективності усереднення у бункерах з урахуванням особливостей кожного конкретного сипучого матеріалу і розмірів бункеру.

Практична цінність роботи. Розроблені пропозиції і рекомендації, які спрямовані на підвищення усередненості потоку сировини на виході з бункерів, придатні для практичного використання як у проєктних організаціях, так і на діючих аглофабриках.

Результати досліджень увійшли до "Методичних вказівок для розрахунку ефективності усереднення шихтових матеріалів на діючих та проєктованих аглофабриках", затверджених Мінчорметом УРСР.

Розроблено пристрій для перевантаження сипучих матеріалів, який дозволяє уникнути сегрегації матеріалу за крупністю уздовж укосів на конвейерній стрічці і тим самим стабілізувати його склад за шириною і висотою потоку.

Розроблено спосіб регулювання основності агломерату у шихтовому відділенні аглофабрики, що враховує особливості режиму роботи групи бункерів.

Реалізація роботи у промисловості. Розробки, що увійшли до "Методичних вказівок для розрахунку ефективності усереднення...", використані УкрДіпрометом у практиці проєктування реконструкції аглофабрик з економічним ефектом 215,4 тис. карбованців.

Спосіб регулювання основності агломерату впроваджений в шихтових відділеннях аглофабрик № 1 та № 2 Дніпровського металургійного комбінату ім. Дзержинського. Отримано загальний економічний ефект 70,4 тис. карбованців на рік.

Удосконалення режиму завантаження шихтових бункерів на аглофабриці № 2 Карагандинського металургійного комбінату дозволило отримати загальний економічний ефект 187,4 тис. карбованців на рік.

Упровадження в умовах Комунарського металургійного комбінату удосконаленого вузла завантаження аглошихти, що дозволив оптимізувати розвиток сегрегації, дало 71,4 тис. карбованців на рік за рахунок зниження витрати твердого палива.

Атробація роботи. Результати дисертації доповідались і обговорювались на Всесоюзних науково-технічних конференціях "Теорія і технологія підготовки металургійної сировини до доменної плавки" - Дніпропетровськ, 1985; "Робота фурменої зони доменних печей" - Свердловськ, 1985; "Теплотехнічне забезпечення технологічних процесів чорної металургії" - Свердловськ, 1990; Всесоюзному семінарі "Методи відбору представничої проби сировини чорної металургії для спектрального аналізу" - Дніпропетровськ, 1983; 2-ій Всесоюзній нараді "Бази фізико-хімічних і технологічних даних для оптимізації металургійних технологій" - Курган, 1990; Республі-

канській науково-технічній конференції "Молоді вчені і спеціалісти - науково-технічному прогресу в металургії". - Донецьк, 1983; Республіканському семінарі "Автоматизація управління доменним виробництвом". - Київ, 1987; щорічних науково-технічних конференціях Донбаського гірничо-металургійного інституту, - Алчевськ, 1981-1992.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 15 друкованих робіт і отримано авторське свідоцтво на винахід.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, закінчення, списку використаної літератури і додатків, викладена на 193 сторінках і включає 119 сторінок машинописного тексту, 20 малюнків, 9 таблиць і 5 додатків. Список використаних літературних джерел складається з 86 найменувань вітчизняних і зарубіжних авторів.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведено літературний аналіз сучасного стану теорії руху сипких матеріалів за витікання з бункера через донний отвір. Розглянуто такі питання, як основні властивості реальних сипких матеріалів і їх характеристики, механізм витікання сипкого тіла з отвору, а також закономірності руху окремих частинок матеріалу в шарі.

У другому розділі подано опис методики проведення досліджень процесу руху частинок матеріалу до отвору, яка дозволяє одержати експериментальні дані високого ступеня надійності і у формі, необхідній для аналізу ефективності усереднення сировини.

Установлено, що траєкторії частинок для простішого випадку витікання (шар матеріалу такий, що поновлюється безперервно і самообмежується на периферії, а процес витікання - вільний, сталий у часі) прямолінійні й описуються рівняннями такого вигляду:

$$r_t = t g \varphi \cdot (h_t + \delta) ; \quad (1)$$

$$t g \varphi = \frac{r}{h + \delta} . \quad (2)$$

де  $r_t$  і  $h_t$  - поточні значення горизонтальної і вертикальної координат відносно центру отвору частинки, що рухається;  $r$  і  $h$  - ті ж координати частинки у початковий момент часу;  $\varphi$  - кут нахилу траєкторії до вертикальної осі  $h$ ;  $\delta$  - параметр, що дорівнює відстані від центру отвору до нижчерозташованої точки, в котрій сходяться продовження всіх траєкторій, котрий залежить від розміру

отвору і гранулометричного складу матеріалу.

Одержані емпіричні рівняння, які дозволяють розрахувати час руху ( $T$ ) частинок сипучого матеріалу до отвору з будь-якої точки внутрішнього об'єму бункера:

$$T(r, h) = T(o, h) \cdot e^{\mu \cdot \frac{r^2}{2 \cdot \sigma^2}}; \quad (3)$$

$$T(o, h) = h \cdot \frac{(1 + b \cdot h)^2}{a}; \quad (4)$$

$$\sigma = c \cdot (h + \delta); \quad (5)$$

$$\mu = 1 + \frac{\lambda}{1 - \left(\frac{r}{3 \cdot \sigma}\right)^2}; \quad (6)$$

де  $\sigma$  - параметр, що характеризує ширину рухомої зони шару на даному горизонті;  $\mu$  - коефіцієнт, який враховує тертя між частинками у русі і обмежує рухому зону шару максимальною координатою  $r=3 \cdot \sigma$ ;  $a, b, c, \delta$  і  $\lambda$  - параметри режиму витікання, що залежать від гранулометричного складу матеріалу і розміру випускного отвору.

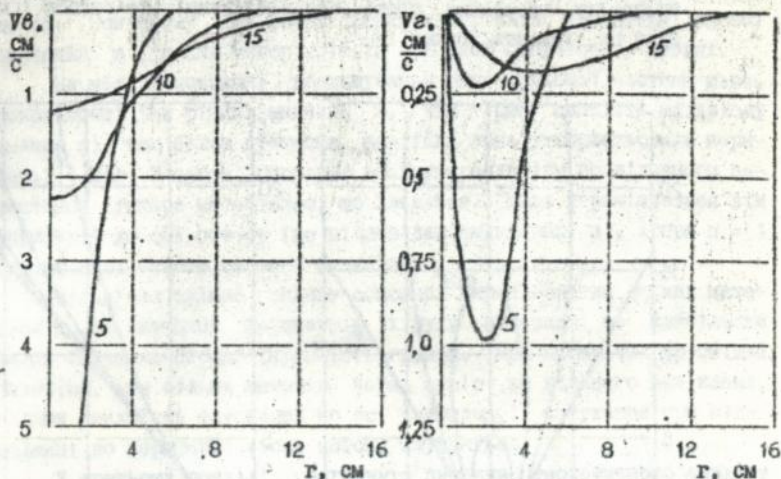
Використовувані у лабораторних експериментах матеріали вибирались виходячи з того, щоб діапазон вар'ювання значень основних характеристик (щільності, середньої крупності і її неоднорідності) був достатній для виявлення їх впливу на досліджувані закономірності. Поряд з нетиповими для виробництва, але зручними в роботі матеріалами, взяті також широко використовувані лісаковський концентрат та залізорудні обкотіші.

Коефіцієнт кореляції між розрахунковими й дослідними значеннями поточних координат частинок і часу їх руху для різних сипучих матеріалів і розмірів випускного отвору приймав значення у межах від 0,931 до 0,999, що свідчить про надійність рівнянь (1)-(6).

Диференціюванням рівнянь (3)-(4) отримано вираз для розрахунку вертикальної складової швидкості руху частинок ( $V_6$ ), а з урахуванням траєкторій у відповідності з (1) і (2) також горизонтальної складової ( $V_e$ ) та сумарної ( $V$ ) їх швидкості.

Розподіл вертикальної швидкості частинок уздовж поперечної координати  $r$  на кожному горизонті поблизу осі отвору майже повністю відповідає нормальному закону (мал.1). Відмінність визначається тертям між частинками і враховується за допомогою коефіцієнта  $\mu$ , який для реальних матеріалів більше 1. Внаслідок при віддаленні від осі бункера швидкість затухає хутчіше, ніж за нор-

мального закону.



Мал. 1. Розподіл вертикальної  $V_g$  і горизонтальної  $V_h$  швидкості частинок уздовж координати  $r$  на різних горизонтах  $h$ . Цифри біля кривих - висота  $h$  (см) відповідного горизонту.

У процесі руху сипучого матеріалу до отвору відбувається додаткове розпушення шару, величина якого визначається, з одного боку, градієнтом швидкості частинок у заданій точці, а з іншого, інтенсивністю звуження потоку у відповідності з їх траєкторіями.

Виведене рівняння для розрахунку надмірної у порівнянні з нерухомим шаром порізності ( $\epsilon^*$ ) у бункері. Більш наочно зону розпушення над випускним отвором можна подати як множину точок всередині рухомого шару із заданою порізністю  $\epsilon^*$ :

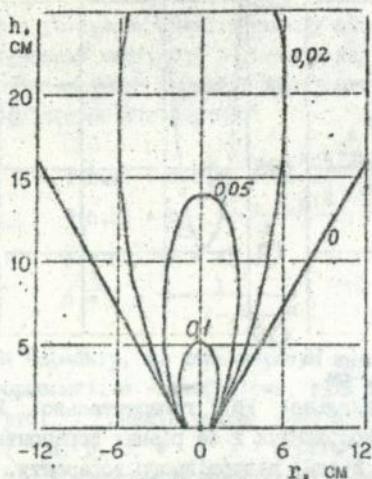
$$r(\epsilon^*, h) = 3 \cdot \sigma \cdot \sqrt{e - \sqrt{(e-1)^2 + 1}} \quad (7)$$

$$\text{де } e = \frac{1}{9} \cdot \ln \frac{\epsilon(0, h)}{\epsilon^*} + \frac{1+\lambda}{2}; \quad (8)$$

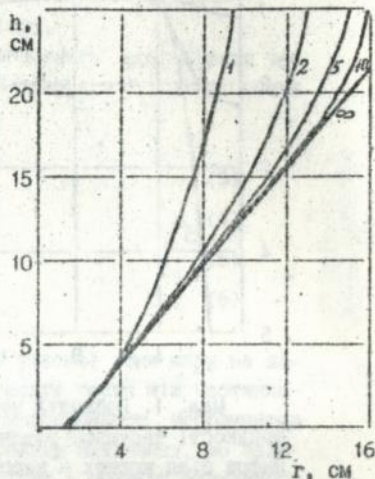
$$\epsilon(0, h) = 1 - \frac{(1+b \cdot h) \cdot (1+3 \cdot b \cdot h)}{3 \cdot b^2 \cdot (h+\delta)^2} \quad (9)$$

На мал. 2. показані розраховані за формулами (7) - (9) лінії однакових значень надмірної порізності, які біля отвору близькі до

еліпсоїду обертання, проте при віддаленні до стінок і поверхні шару ця схожість зникає.



Мал. 2. Лінії однакових значень надмірної пористості шару  $\varepsilon^*$  (цифри біля кривих) у бункері



Мал. 3. Межа рухомої зони шару за різних  $n$  (цифри біля кривих)

Шляхом математичної обробки експериментальних даних отримані рівняння для розрахунку витрати матеріалу за вільного витікання у залежності від його властивостей і розмірів отвору.

Установлено, що регулювання витрати за допомогою живильника не впливає на якісний вигляд одержаних закономірностей, досить ввести коефіцієнт пропорційності ( $k$ ), що дорівнює відношенню витрат за вільного витікання і фактичного через живильник.

Враховано вплив зрізу рухомої частини шару стінками бункеру. При цьому траєкторії викривляються і стають більш прямовисними. Вертикальна швидкість частинок зростає, а горизонтальна — зменшується. Межа, що відділяє нерухому зону від рухомої, залежить від віддалення стін ( $R$ ) і описується рівнянням:

$$r_r = 3 \cdot \sigma \cdot \left( 1 + \left( \frac{3 \cdot \sigma}{R} \right)^n \right)^{-\frac{1}{n}} \quad (10)$$

Параметр  $n$  для реальних матеріалів знаходиться в межах від 3

до 10. При цьому для добре сищикх матеріалів характерні високі значення  $n$ , а для матеріалів із зниженою сищучістю - низькі.

На мал. 3 показані розташування межі рухомої частини шару, розраховані для різних значень  $n$ . Чим гірша сищикість матеріалу (менше  $n$ ), тим більш протяжна застійна зона утворюється на периферії. Мал. 3 також допомагає збагнути механізм послідовного заростання бункера матеріалом, що злежався. Межа переміщується від периферії до осі отвору (що відповідає зменшенню  $n$ ), і при  $n = 1$  працює лише осьова частина бункера.

Кількісна оцінка впливу основних характеристик сищикх матеріалів на значення параметрів їх руху показала, що найбільший вплив справляє середня крупність грудок. При цьому чим дрібніший матеріал, тим більша витрата через отвір за вільного витікання, більша швидкість опускання на осі і швидше її затухання при віддаленні до периферії (зона потоку звукується).

У третьому розділі розглянуто питання теоретичного аналізу ефективності усереднення залізородної сировини у бункерах. Подані основи кількісної описи процесів усереднення з використанням теорії випадкових процесів і математичної статистики.

Найбільш повною кількісною характеристикою взаємного розташування грудок у потоці, а значить, і його усередненості, є автокореляційна функція (АКФ) вмісту компоненту у потоці матеріалу від грудки до грудки.

Очевидно, що коливання складу разових проб і окремих грудок матеріалу будуть різними. Співвідношення, що їх пов'язує, виражається таким чином:

$$G_0^2 = G_t^2 \cdot T ; \quad (11)$$

$$T = \frac{2}{\theta} \cdot \int_0^{\theta} \left( 1 - \frac{\tau}{\theta} \right) \cdot r_t(\tau) \cdot d\tau . \quad (12)$$

де  $r_t(\tau)$  - АКФ складу матеріалу від грудки до грудки;  $\tau$  - зрушення або аргумент функції;  $\theta$  - масив матеріалу, що випробовується і відповідає одному разовому аналізу;  $G_t^2$  і  $G_0^2$  - дисперсія складу матеріалу від грудки до грудки і від одного випробовуваного масиву до іншого;  $T$  - комплексний безрозмірний параметр.

Величина дисперсії  $G_t^2$  являє собою характеристику неоднорідності грудок даного матеріалу за складом, визначається його природою і не залежить від взаємного розташування грудок різного складу у технологічному потоці.

Параметр  $T$ , навпаки, залежить тільки від хаотичності розташування у потоці грудок різного складу, а значить, є характеристикою усередненості матеріалу. Точніше, такою характеристикою слід вважати величину, зворотну параметру  $T$ .

У процесі усереднення матеріалу за складом неоднорідність матеріалу залишається незмінною, оскільки з самими грудками нічого не відбувається, а змінюється лише їх розташування одна стосовно однієї. Усереднення позначається тільки на величині параметру  $T$  за рахунок того, що внаслідок перемішування грудок АКФ їх складу швидше затухає при збільшенні зрушення  $\tau$ , і відповідно зменшується значення інтегралу, що входить до (12). Величина параметру  $T$  у граничних випадках становить для надто неусередненого матеріалу - 1, і для ідеально усередненого - 0.

Враховуючи те, що у виразі (11) неоднорідність грудок за складом  $G_c^2$  при усередненні сировини не змінюється, коефіцієнт усереднення можна розрахувати таким чином:

$$K = \sqrt{\frac{T^H}{T^K}} \quad (13)$$

де  $T^H$  і  $T^K$  - значення параметру  $T$  до і після усереднення.

Метою усереднення є досягнення шляхом перемішування окремих порцій матеріалу такого їх розташування у технологічному потоці, за якого поруч з будь-якою грудкою з однаковим ступенем ймовірності може опинитися як грудка з малим вмістом компоненту  $X$ , так і з більшим. У цьому випадку АКФ  $r_c(\tau)$  навіть за мінімально можливого значення зрушення  $\tau$  відразу ж перетворюється на 0, і інтеграл у виразі (12), який являє собою площу під АКФ вищу осі абсцис, відповідно дорівнює нулю.

Найбільш складним і важливим питанням при оцінці ефективності усереднення сировини у будь-якій усереднювальній системі є визначення АКФ кінцевого (після усереднення) потоку, виходячи з відомої початкової АКФ (до усереднення) з урахуванням всіх взаємних перестановок окремих його порцій, які мають місце в усереднювальному пристрої.

Проаналізовано усереднення сировини у окремому бункері, що відбувається за рахунок випередження одних частинок іншими за їх руху від поверхні засипу до живильника. Коефіцієнт усереднення розраховується за таким виразом:

$$K^2 = \frac{\sum_{k=1}^n a_k \cdot \varphi(U_k)}{\sum_{k=1}^n \frac{a_k}{1 - V_k^2} \left[ \varphi(U_k) - V_k \cdot \varphi\left(\frac{U_k}{V_k}\right) \right]} \quad (14)$$

де  $U_k = \frac{\theta}{\tau_k}$ ;  $V_k = \frac{T_0}{\tau_k}$  - відносна величина випробовуваного масиву і відносна умовна ємкість бункера;  $a_k$  і  $\tau_k$  - вагові коефіцієнти і інтервали кореляції АКФ.

Вхідні в (14) функції  $\varphi(x)$  визначаються формулою:

$$\varphi(x) = \frac{2}{x} \cdot \left( 1 - \frac{1 - e^{-x}}{x} \right) \quad (15)$$

Результати досліджень, наведені у розділі 2, дозволяють розрахувати величину параметру  $T_0$  не тільки у залежності від висоти шару матеріалу, але й за зміни його гранулометричного складу, а також за звуження потоку сировини стінками бункера.

Співвідношення (14) враховує такі особливості процесу усереднення, як кількісні характеристики коливань складу вихідного потоку матеріалу, який усереднюється, прийняту систему випробування для поточного технологічного контролю вмісту в матеріалі компоненту, що усереднюється, а також можливість наявності у коливаннях декількох компонентів з різною частотою.

Усереднення у групі паралельно працюючих бункерів відбувається внаслідок двох типів взаємних перестановок порцій матеріалу.

По-перше, за почергового завантаження бункерів відбувається циклічна зміна почерговості слідування порцій, і в результаті сусідні у вхідному потоці порції матеріалу опиняються на вихідному конвейєрі віддаленими одна від одноі.

І по-друге, має місце механізм перемішування матеріалу на виході з живильників, який полягає у накладенні одну на одну порцій, що одночасно виходять з усіх бункерів.

Величина параметру  $T^k$  залежить від співвідношення маси випробовуваного масиву ( $\theta$ ) і активної ємкості групи бункерів ( $Q$ ). Для випадку, коли  $\theta=Q$ , параметр  $T^k$  розраховується таким чином:

$$T^k = \frac{2}{U^2} \left[ U - \frac{\varphi(v) - e^{-U} \cdot f(v)}{f\left(\frac{v}{n}\right)} - \frac{(2n-1)(e^{\frac{v}{n}} - e^{-\frac{v}{n}}) - 2 \cdot \frac{v}{n}}{\left(\frac{v}{n}\right)^2 \cdot f\left(\frac{v}{n}\right)} + \frac{4 \cdot (n-1)}{\frac{v}{n}} \right] \quad (16)$$

Вхідні в (16) функції  $f(x)$  визначаються формулою:

$$f(x) = \frac{e^x + e^{-x} - 2}{x^2} \quad (17)$$

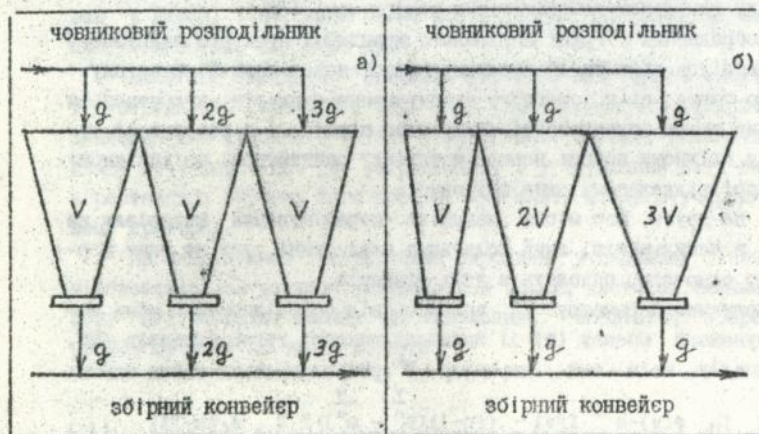
Оцінено вплив сегрегації матеріалів на усередненість потоку сировини після виходу з бункерів.

Для вивчення ступеня розвитку сегрегації і виявлення його залежності від основних чинників були проведені дослідження процесу укладання шихти на агломашину у промислових умовах. Аналогічне явище сегрегації має місце і у бункерах при їх заповненні і розвантаженні.

Для вивчення коливності гранулометричного складу матеріалу на виході з бункерів з урахуванням змін змісту всієї різноманітності фракцій проведені промислові дослідження щодо розсіву агломерату в процесі його видачі з бункерів до повного їх визволення без дозаправок.

Як показує аналіз результатів, бункери вносять значні за величиною додаткові коливання гранулометричного складу сипкого матеріалу, що проходить через них. У зв'язку з тим, що різні за розміром гранул фракції агломераційної шихти мають велику відмінність хімічного складу, ці додаткові коливання призводять до розусереднення шихти і погіршення якості спікливого агломерату.

У четвертому розділі відображені питання практичного використання результатів досліджень, які застосовуються як у проектних організаціях, так і на діючих аглофабриках (методика розрахунку



Мал. 4. Оптимальний режим роботи групи бункерів

оптимального профілю бункера для конкретного матеріалу, оптимізація режиму роботи групи бункерів з метою максимального використання їх усереднювальних можливостей (мал.4), удосконалення регулювання основності агломерату з урахуванням режиму роботи шихтових бункерів).

Також подано аналіз економічної ефективності скорочення коливань складу агломераційної шихти. Для розрахунку економії твердого палива від заходів щодо усереднення шихти рекомендується така залежність:

$$\Delta T = 5 \cdot \Delta G_{Fe} + 50 \cdot \Delta G_v \quad (18)$$

Як показують розрахунки, навіть якщо добитися абсолютної стабільності складу шихти і довести середньоквадратичні відхилення її заліза ( $G_{Fe}$ ) і основності ( $G_v$ ) до нуля, то максимальна економія твердого палива в такому ідеальному випадку становитиме приблизно 6 кг/т агломерату.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Одержані рівняння, які описують закономірності руху частинок будь-якого досить близького до ідеального сипкого матеріалу за вільного його витікання через круглий донний отвір. Використання запропонованих залежностей дозволяє розрахунковим шляхом за заданим діаметром отвору, середнім розміром грудки, коефіцієнтом варіації розміру грудок, витратою матеріалу через живильник і попереднім розміром бункера визначити основні параметри руху окремих грудок у будь-якій точці шару.

2. Виконана кількісна оцінка впливу основних характеристик сипучих матеріалів на значення параметрів руху частинок у шарі. Установлено, що найбільший вплив справляє крупність грудок сипкого матеріалу. При цьому чим дрібніший матеріал, тим вища об'ємна витрата через отвір при вільному витіканні, більша швидкість опускання частинок уздовж вертикальної осі, і тим скоріше затухає швидкість при віддаленні від осі до периферії (зона потоку стає більш вузькою).

3. Виконана оцінка впливу регулювання витрати матеріалу через отвір з допомогою живильника, яка показала, що у такому режимі якісний вигляд закономірностей руху частинок ідентичний їх вигляду за вільного витікання матеріалу. Кількісна відмінність полягає у зменшенні швидкості руху шару пропорційно відношенню ви-

трати у режимі вільного витікання до фактично установлені через живильник витрати.

4. Розроблена методика кількісної оцінки ефективності усереднення сировини у бункерах, що базується на теорії випадкових процесів і враховує характер перемішування матеріалу у обсязі окремого бункера, а також взаємні перестановки порцій за одночасної роботи групи бункерів.

5. Виконаний аналіз впливу основних визначальних параметрів на коефіцієнт усереднення сипучих матеріалів у бункерах. Найбільш дієвим заходом, спрямованим на підвищення ефективності усереднення, є одночасне збільшення як шкості кожного бункера, так і їх кількості. Установлено, що кожен окремий бункер є генератором коливань середньої крупності грудок, близьких до синусоїди. Ці коливання виникають внаслідок дії сегрегації у протилежних напрямках (за завантаження з вершини гребеня до стін, а за видачі - від стін до центру воронки).

6. Вивчене явище сегрегації агломераційної шихти за закладення на агломашину з допомогою завантажувального лотка. Запропоновані рівняння, які дозволяють розраховувати значення середнього діаметру гранул шихти за висотою шару і вмістом вуглецю у них у залежності від кута нахилу лотка до горизонту.

7. Розроблено пристрій для перевантаження сипучого матеріалу на конвейерну стрічку, який дозволяє практично повністю виключати небажаний розвиток сегрегації уздовж укосів, спрямованих як за шириною стрічки до її кромки, так і назустріч руху конвейера.

8. Розроблена методика розрахунку оптимального профілю бункерів з метою усунення можливості виникнення у них застійних зон, яка враховує характеристики конкретного сипкого матеріалу, для якого відбувається проектування бункера.

9. Проаналізовано стан усереднення рудної суміші і лісаковського концентрату у бункерах шихтового відділення аглофабрики №2 Карагандинського металургійного комбінату. Запропонована і впроваджена система завантаження бункерів, котра дозволила скоротити коливість складу агломерату і збільшити продуктивність агломашин.

10. Розроблений і впроваджений алгоритм регулювання основності агломерату, який враховує ступінь заповнення бункерів у момент здійснення регулюючої дії і дозволяє скоротити коливання складу агломерату і зменшити витрату твердого палива на 0,3 кг/т

за рахунок стабілізації процесу спікання.

11. Виконана кількісна оцінка залежності питомої витрати твердого палива в аглошихті від змін коливності вмісту заліза в агломераті і його основності. Скорочення середньоквадратичного відхилення вмісту заліза на кожні 0,1 %абс, приводить до економії 0,5 кг твердого палива на тону агломерату. Зменшення середньоквадратичного відхилення основності агломерату на кожні 0,01 також знижує витрату палива на 0,5 кг/т.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО  
В ТАКИХ РОБОТАХ:

1. Усовершенствование технологии усреднения железорудных материалов / П.Г. Русаков, Л.Ф. Михайлова, Л.В. Кухно, В. А. Лебедев. С.Д.Кузьминова//Информационный листок Ворошиловградского ЦНТИ, № 82-35, 1982. - 4с.
2. Регулирование сегрегации шихты при укладке на агломашину / С.Н. Петрушов, В. А. Лебедев, Л.Ф. Михайлова и др. // Сталь.- 1983. - № 3. - С. 6-8.
3. Лебедев В.А., Русаков П.Г. Исследование закономерностей движения сыпучих материалов в бункерах. - К.: // Рукопись деп. в УкрНИИТИ Госплана УССР. - 1983, № 1435 Ук-ДБЗ. - 12 с.
4. Методические указания к расчету эффективности усреднения шихтовых материалов на действующих и проектируемых аглофабриках / П.Г.Русаков, Л.Ф.Михайлова, В.А.Лебедев, Л.В.Кухно. // Минчермет УССР, КГМИ.- Коммунарк, 1983.- 81 с.
5. Методика оценки и анализа эффективности систем усреднения / П.Г.Русаков, Л.Ф.Михайлова, В.А.Лебедев, Л.В.Кухно // Информационный листок Ворошиловградского ЦНТИ, № 85-03, 1985. - 4с.
6. Михайлова Л.Ф., Лебедев В.А. Состояние усреднения железорудного сырья на ДМК им.Дзержинского // Тезисы докл. Всес. науч.-техн. конф.- Днепропетровск, 1985.- С. 131.
7. Лебедев В.А., Белоус С.В. Влияние гранулометрического состава сыпучего материала на характер движения его частиц в бункере// Тезисы докл. Всес. науч.-техн. конф.- Днепропетровск, 1985.- С. 134.
8. Лебедев В.А. Исследование порозности движущегося слоя сыпучего материала // Тезисы докл. Всес. науч.-техн. конф.- Свердловск, 1985.- С. 16-17.
9. Лебедев В.А., Русаков П.Г. Исследование закономерностей дви-

- жения сыпучих материалов в бункерах // Тезисы докл. Респ. науч.-техн. конф. - Донецк, 1983. - Деп. в УкрНИИТИ Госплана УССР. - 1985, № 327 Ук-85. Деп - С. 77-79.
10. А.с. 1286484 СССР, МКИ В65G -65/28. Устройство для перегрузки сыпучих материалов / В.Н.Дорофеев, В.А. Лебедев, А.И.Капуста, Б.С.Бей // Заявлено 01.10.84, опубл. 30.01.87, бюл.№ 4.
11. Новохатский А.М., Лебедев В.А. Оперативный контроль окружной неравномерности работы доменной печи // Тезисы докл. Всес. совещ. - Курган, 1990. - С. 216.
12. Русаков П.Г., Лебедев В.А., Лешило Н.Н. Математическое обеспечение тренажера технолога-агломератчика // Тезисы докл. Всес. совещ. - Курган, 1990. - С. 218-219.
13. Новохатский А.М., Лебедев В.А. Управление ходом доменной печи по результатам текущего контроля тепловых потерь в системах охлаждения // Тезисы докл. Всес. науч.-техн.конф. - Свердловск, 1990. - С. 33.
14. Использование устройства контроля разности электрических потенциалов на кожухе доменной печи / А.М.Новохатский, В.А. Лебедев, Г.Д.Михайлюк и др. // Бюллетень ЦНИИТЭИЧерМет. - 1991. - № 8. - С. 36.
15. Окружная неравномерность работы доменной печи большого объема / А.М. Новохатский, В. А. Лебедев, В.А. Гордиенко и др. // Бюллетень ЦНИИТЭИЧерМет. - 1992. - № 4. - С. 30-32.
16. Лебедев В.А., Русаков П.Г., Петрушов С.Н. Закономерности движения сыпучих материалов в бункерах // Изв.вузов. Черная металлургия. - 1993. - № 3. - С. -

Автор

*В.О. Лебедев*

В.О. Лебедев