

В.И. Пожуев, ректор, д.ф.-м.н., профессор

М.Ю. Пазюк, профессор, д.т.н.

Ю.М. Пазюк, доцент, к.т.н.

М.А. Безверхая, доцент, к.т.н.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕГРЕГАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЕ**

*Запорожская государственная инженерная академия*

Виконано аналіз методів дослідження сегрегаційних процесів в агломераційній шихті. Доведено, що одним з найбільш перспективних напрямів підвищення ефективності агломераційного процесу є управління процесом сегрегації огрудкованої агломераційної шихти під час її завантаження на агломераційну стрічку. Сформульовано задачі, вирішення яких дозволить виконати таке управління, запропоновано перспективні методи їхнього розв'язання.

Выполнен анализ методов исследования сегрегационных процессов в агломерационной шихте. Показано, что одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности агломерационного процесса является управление процессом сегрегации окомкованной агломерационной шихты в процессе ее загрузки на агломерационную ленту. Сформулированы задачи, решение которых позволит выполнять такое управление, и предложены перспективные методы их решения.

*Введение.* В связи с дефицитом богатых железных руд на предприятиях черной металлургии Украины все активнее находит применение концентрат глубокого обогащения, содержащий до 90...95% фракции 0...0,05 мм. Производительность агломерационной машины и качество агломерата, полученного из такого тонкого концентрата, определяется главным образом характеристиками слоя окомкованной агломерационной шихты на спекательных тележках агломерационной машины, которые формируются в процессе подготовки материала к спеканию.

*Анализ практических данных и достижений.* Переработка железорудных концентратов в доменной печи связана с большим уносом рудной мелочи с газами и нарушением правильного хода доменного процесса вследствие уменьшения газопроницаемости шихты. Поэтому мелкие руды и концентраты подвергают предварительному окускованию – агломерации.

Спекание рудной мелочи на колосниковой решетке с просасывание воздуха через слой спекаемой шихты является самым распространенным способом окускования. Спеканию подвергают рудную мелочь с частицами размером до 10 мм, концентраты, колосниковую пыль и пылеподобные железосодержащие материалы. Для производства офлюсованного агломерата к рудной части добавляют дробленый известняк с размером частиц до 3 мм. В качестве топлива применяют дробленый коксик фракции 0...3 мм. В смесь этих материалов добавляют оборотный продукт (возврат), частицы агломерата в кусках до 8 мм и неспекшуюся шихту.

Рудную мелочь или концентраты обогащения тщательно перемешивают с измельченным коксиком при одновременном увлажнении. Мелкие увлажненные частицы материала при перемешивании укрупняются в небольшие более или менее прочные комочки. В результате шихта приобретает зернистый состав, что уменьшает ее насыпной вес и создает необходимую газопроницаемость, позволяющую вести про-

цесс спекания в слое 200...300 мм и более.

Подготовленную шихту загружают в спекательное устройство, нижняя часть которого представляет собой колосниковую решетку, и зажигают с поверхности при помощи специального горна. Одновременно под колосниковой решеткой создают вакуум, благодаря чему воздух просасывается через слой загрузки, что обеспечивает интенсивное окисление материалов шихты по мере повышения температуры в зоне горения. Горение, начавшееся с поверхности шихты в ограниченной по высоте зоне, последовательно проходит через всю толщину загруженного материала и завершается у колосниковой решетки.

На колосниковую решетку перед загрузкой шихты укладывают слой готового агломерата крупностью 8...15 мм, так называемую «постель», которая предохраняет решетку от воздействия высоких температур, предотвращает просыпание через нее шихты и облегчает сход спеченного агломерата с решетки после окончания процесса спекания.

Характерные черты агломерационного процесса сохраняются независимо от конструкции агломерационных машин. В промышленности наиболее распространены агломерационные машины ленточного типа, которые представляют собой непрерывный ряд движущихся тележек с колосниковыми решетками. Шихту загружают на тележки в головной части машины. Затем тележки последовательно проходят под зажигательным горном и над всеми вакуумными камерами установки. За время движения тележки по верхней рабочей ветви машины зона горения проходит весь путь от верхних слоев шихты до «постели». К моменту окончания процесса тележка достигает разгрузочной части машины, где при ее опрокидывании готовый агломерат сбрасывается с колосников, охлаждается и разделяется на фракции – готовый агломерат, «постель» и возврат.

Производительность агломерационной машины  $Q$  оценивают по формуле

$$Q = 0,6F \cdot \rho \cdot v \cdot m , \quad (1)$$

где  $F$  – площадь спекания ленты, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – насыпная плотность шихты, т/м<sup>3</sup>;  $v$  – вертикальная скорость спекания, м/мин;  $m$  – выход годного агломерата из шихты, отн. ед.

Как видно из формулы (1), повышение производительности агломерационных машин на действующей аглофабрике может быть сведено к увеличению вертикальной скорости спекания и выхода готового агломерата [1]. Кроме того, увеличение производительности также связано с уменьшением простоев агломерационной машины.

Вертикальная скорость спекания характеризует перемещение фронта формирования агломерата по высоте слоя в единицу времени. На практике скорость спекания определяется как частное от деления высоты слоя на общее время процесса, включающее время разогрева верхнего слоя внешним источником теплоты и время частичного охлаждения агломерата. Независимо от метода ее вычисления, скорость спекания определяется скоростью перемещения тепловой волны, которая, в свою очередь, зависит от скорости фильтрации воздуха, теплофизических свойств шихты и скорости горения топлива. Теплофизические свойства шихты и топлива зависят от того, с какого месторождения они получены и поэтому оперативно управлять их параметрами не представляется возможным. В связи с этим основным способом ускорения спекания является увеличение скорости фильтрации воздуха через слой.

Скорость фильтрации газа связана с параметрами слоя и разрежением воздуха

под колосниковой решеткой. По данным, приведенным в работе [1], вертикальная скорость спекания прямо пропорциональна газопроницаемости шихты, измеряемой количеством воздуха, проходящего через  $1 \text{ м}^2$  площади всасывания машины.

Таким образом, основным способом интенсификации процесса спекания является увеличение скорости фильтрации воздуха через слой, достигаемой при помощи снижения газодинамического сопротивления и повышения вакуума под колосниковой решеткой. Однако повышение вакуума связано со значительным увеличением расхода электроэнергии на одну тонну агломерата. При превышении разрежением некоторого критического значения прирост производительности замедляется. Поэтому, наибольший интерес представляет разработка методов повышения газопроницаемости слоя шихты.

Газопроницаемость спекаемого слоя можно существенно повысить, если обеспечить заданную сегрегацию частиц по его высоте [2,3] при загрузке шихты на агломерационную ленту. Под сегрегацией понимают распределение классов крупности частиц материала в его массе. В работе [4] определены количественные возможности интенсификации процесса спекания за счет перераспределения частиц шихты различного размера по высоте слоя. Показано, что для агломерационной шихты газопроницаемость слоя с максимальной неоднородностью по высоте отличается от газопроницаемости слоя однородной структуры, загруженного без сегрегации, на 20%. В работах [5-7] также дана оценка влияния сегрегации на газопроницаемость слоя. Согласно приведенным данным, управление сегрегацией частиц слоя агломерационной шихты вызывает увеличение его газопроницаемости в среднем на 15%.

Одним из преимуществ сегрегации авторы работ [8-10] считают образование «постели» из крупных гранул. Однако, при этом не учитывается возникновение неоднородности слоя шихты по вещественному и гранулометрическому составам. Некоторые авторы [10] полагают, что сегрегация полезна только до определенного значения, выше которой она начинает оказывать неблагоприятное воздействие на процесс спекания. Вывод о положительном влиянии сегрегации обосновывается рациональным распределением топлива по высоте слоя.

Авторы работ [11-15] считают, что сегрегация оказывает отрицательное воздействие на стабильность свойств агломерата, увеличивая химическую неоднородность по высоте слоя, а скопление большого количества мелких фракций (-3 мм) в верхних горизонтах слоя сопровождается повышением газодинамического сопротивления загружаемого материала.

В ряде случаев сегрегация шихты по крупности в некотором продольном сечении слоя является основной причиной снижения качества агломерата [10-12]. В этих работах показано, что при уменьшении сегрегации возможно повышение однородности и улучшение металлургических свойств агломерата. В работе [10] показано, что сегрегация желательна при отсутствии комбинированного нагрева шихты, так как приводит к выравниванию теплового уровня процесса. При комбинированном нагреве, когда расход топлива снижается на 10%, его перераспределение приводит к недостатку теплоты в нижних горизонтах слоя.\*

В работах [10,16,17] отмечено, что существует сегрегация не только по высоте слоя, но и по ширине спекательных тележек. Проведена сравнительная оценка сегрегации при загрузке шихты барабанным и вибрационным питателями. Если в первом

---

\* Любое продольное сечение слоя агломерационной шихты на агломерационной ленте в дальнейшем будем называть горизонтом слоя

случае распределение углерода по высоте слоя было примерно равномерно, то во втором его содержание в верхней половине составило 5,21%, в нижней половине – 2,55%. Это позволило существенно повысить технико-экономические показатели агломерационного процесса за счет снижения расхода топлива. Результаты экспериментальных исследований [18,19] показали, что газопроницаемость слоя значительно повышается при установке загрузочного лотка под углом, равным или близким к углу естественного откоса материала.

Прочностные характеристики агломерата во многом зависят от закономерностей изменения химического состава и теплового режима процесса спекания по высоте слоя. В агломерационной шихте флюс и топливо сосредотачиваются во фракции 0...3 мм, на долю которой приходится около 83% углерода и 73% оксида кальция [20,21]. Поэтому, сегрегация шихты по гранулометрическому составу вызывает сегрегацию по содержанию топлива и будет оказывать влияние на тепловой режим спекания, и, следовательно, на прочность агломерата. Начальный период спекания характеризуется недостатком теплоты, поэтому верхняя часть спеку, достигающая одной трети всей спекаемой массы материала, является наименее прочной. После испытаний агломерата на сбрасывание в пробе из верхней части спека содержание фракции -5 мм составляет 21,2%, из нижней – 15,6% [22].

Таким образом, как показывает анализ литературных источников, преобладающее влияние на условия протекания агломерационного процесса и качественные характеристики агломерата оказывают структура подготовленного к спеканию слоя железорудного материала и закономерности распределения по его высоте топлива и флюсов.

Масса поступающего материала, представляющая собой совокупность частиц, близких к сферической форме, движется по поверхности загрузочного лотка к откосу слоя под действием гравитационных сил. Согласно используемой схеме загрузки агломерационной шихты на спекательные тележки происходит ее расслоение по фракциям, так как более крупные частицы скатываются к основанию формирующегося слоя, мелкие сосредотачиваются в верхней его части [23-26].

Рассматривая отдельную частицу как тело правильной формы (шар), свободно движущееся по наклонной плоскости, в работе [27] получены решения, характеризующие распределение частиц сыпучего материала по высоте формирующегося слоя при качении частиц:

$$h_i = \frac{\ell_1 \cdot (\sin \alpha_1 - f_{1i}^1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \sin \alpha_2}{f_2^1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2} \quad (2)$$

и при совместном скольжении и качении:

$$h_i = \frac{\ell_1 \cdot (\sin \alpha_1 - f_{1i} \cdot \cos \alpha_1) \cdot \sin \alpha_2}{v \cdot (f_{2i}^1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2)}, \quad (3)$$

где  $h_i$  – положение  $i$ -ой частицы в слое, м;  $\ell_1$  – путь, пройденный частицей по поверхности загрузочного лотка, м;  $\alpha_1, \alpha_2$  – соответственно угол наклона загрузочного лотка и поверхности откоса слоя, град;  $f_{1i}^1, f_{1i}$  – коэффициенты трения качения и скольжения  $i$ -ой частицы по поверхности загрузочного лотка соответственно;  $f_{2i}^1$  – коэффициент трения качения частицы по поверхности откоса слоя;  $v$  – коэффициент формы частицы.

Уравнение (2) соответствует качению частицы шихты по поверхности загруз-

зочного лотка и откоса слоя. Зависимость (3) дает возможность определить распределение частиц шихты в слое при их качении со скольжением по загрузочному лотку и чистом качении по поверхности откоса материала.

Анализ полученных зависимостей и сравнение результатов математического моделирования с действительными процессами [28-31] позволяет сделать следующий вывод: основное влияние на процесс формирования слоя полидисперсного материала оказывают его физико-механические свойства и угол наклона загрузочного лотка.

Воздействие внешних усилий на структуру стационарного слоя полидисперсного сыпучего материала исследовано в работах [32,33]. Показано, что изменение высоты слоя (усадка) связано с уплотнением его структуры под действием разрежения и вибрации конструкции агломерационной машины.

В работе [34] представлена математическая модель процесса сегрегации сыпучего материала при загрузке ее в шахту доменной печи:

$$\frac{dx_i}{d\ell} = -\alpha_i \cdot x_i \cdot (\ell - x_i), \quad (4)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент сегрегации  $i$ -ой фракции;  $x_i$  – содержание  $i$ -ой фракции в шихте, %;  $\ell$  – расстояние в радиальном направлении движения к стенке печи, м.

Решением уравнения (4) есть функция, которая дает соотношение между различными фракциями шихты при сегрегации

$$\log\left(\frac{x_i}{x_i - 1}\right) = \log\left(\frac{x_i^f}{x_{i-1}^f}\right) - (\alpha_i - \alpha_{i-1}), \quad (5)$$

где  $f$  – коэффициент, характеризующий свойства материала.

Приведенная модель предназначена для описания частного случая сегрегации полидисперсных материалов в условиях встречно направленного движения газа через формирующийся слой. Основные коэффициенты ( $\alpha_i, f$ ) и структура модели определены экспериментально, что снижает возможность их использования для описания механизма сегрегации.

Известна модель распределения полидисперсного материала по откосу слоя, построенная на основе распределения Вейбулла [35,36].

Изменение среднего диаметра частиц шихты  $\bar{d}$  по длине откоса слоя материала аппроксимируется уравнением

$$\bar{d} = \bar{d}_n \frac{\ell}{r(x) \cdot (k+1)} \cdot \left(\ln \frac{\ell}{\ell - e}\right)^k, \quad (6)$$

где  $\bar{d}_n$  – средний диаметр частиц исходного материала, мм;  $\ell$  – относительная длина откоса слоя;  $k$  – эмпирический коэффициент,  $k = \frac{\bar{d}_n}{m_n} \cdot \ell^{-B \cdot \bar{d}_n}$ ;  $r(x)$  – гамма-функция;  $B$  – эмпирический коэффициент, определяемый свойствами материала;  $m_n$  – показатель степени неоднородности материала.

Модель позволяет оценивать изменение среднего размера частиц по откосу слоя материала при известном гранулометрическом составе материала.

Неоднозначность связи среднего диаметра частиц материала с его фракционным составом, экспериментальное определение ряда коэффициентов снижают возможность применения модели в различных технологических условиях.

Для численной оценки степени сегрегации агломерационной шихты по высоте

слоя при известном распределении фракций предложен коэффициент сегрегации [37,38], определяемый по следующей формуле

$$K_{c\phi} = 1 - \frac{\sum_{ij} \frac{|C_{ij}^u - C_{ij}^{\phi}|}{C_i}}{\sum_{ij} \frac{|C_{ij}^u - C_i/n|}{C_i}}, \quad (7)$$

где  $C_{ij}^u, C_{ij}^{\phi}$  – содержание  $i$ -ой фракции на  $j$ -ом горизонте слоя при идеальной и фактической сегрегации, %, соответственно;  $C_i$  – содержание  $i$ -ой фракции в исходной шихте, %;  $n$  – количество горизонтов в слое.

В данном случае предложен показатель сегрегации полидисперсного материала по высоте слоя, который не отражает физических основ механизма его формирования и не может быть использован для моделирования процесса.

Необходимо отметить, что управление только одной газопроницаемостью слоя агломерационной шихты не обеспечит повышение экономической эффективности процесса ее спекания и металлургических характеристик агломерата. Так, для условий ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» максимальная скорость спекания агломерационной шихты и прочность полученного агломерата достигается при определенной сегрегации фракций материала и твердого топлива по высоте слоя, который не соответствует оптимуму по газопроницаемости [14].

Анализ существующих работ по оптимизации агломерационного процесса показывает, что производительность агломерационной машины и качество агломерата определяются главным образом характеристиками слоя окомкованной агломерационной шихты на спекательных тележках машин, которые формируются в процессе подготовки материала к спеканию.

Основными характеристиками слоя окомкованной агломерационной шихты на агломерационной ленте, определяющими скорость спекания (и, следовательно, производительность агломерационной машины), а также качество конечного продукта, являются газопроницаемость слоя шихты и распределение топлива по его высоте.

Особенностями агломерационного процесса является зависимость химического состава гранул окомкованной шихты от их размера и зависимость газопроницаемости слоя шихты от распределения фракций по его высоте. Поэтому, имея возможность прогнозировать распределение фракций по высоте слоя и управлять им, можно добиться желаемого распределения химических компонентов шихты, в частности топлива, по его высоте, и его максимальной газопроницаемости.

В связи с этим разработку экономически обоснованных и технически реализуемых решений по совершенствованию процессов подготовки железорудного сырья к окучиванию, в том числе исследование влияния параметров загрузочного устройства агломерационной машины на распределение фракций агломерационной шихты по высоте слоя на агломерационной ленте, и, следовательно, на такие характеристики слоя, как газопроницаемость и распределение топлива по его высоте, обуславливают актуальность проведения исследований в данном направлении.

*Постановка задачи.* Задачей работы является анализ методов исследования сегрегационных процессов в агломерационной шихте и развитие теоретического обоснования технологических операций по подготовке окомкованной агломерационной шихты к спеканию, что позволит повысить эффективность использования теплоты

сгорания твердого топлива за счет достижения заданного распределения классов крупности агломерационной шихты по высоте слоя на агломерационной ленте.

*Изложение материалов исследований.* Для достижения поставленной цели исследований необходимо решить следующие задачи:

– установить связь между параметрами технологических процессов по подготовке шихты к спеканию и гранулометрическими характеристиками окомкованной агломерационной шихты, которая загружается на агломерационную ленту;

– установить зависимость между характеристиками окомкованной агломерационной шихты и интенсивностью сегрегационных процессов, которые протекают при ее загрузке на агломерационную ленту;

– разработать математическую модель процесса укладки окомкованной агломерационной шихты на агломерационную ленту, которая позволит определить гранулометрический состав каждого из горизонтов слоя шихты на агломерационной ленте для различных условий формирования слоя;

– установить влияние технологических параметров загрузочных узлов агломерационных машин на распределение классов крупности окомкованной агломерационной шихты по высоте слоя на агломерационной ленте;

– разработать технологические рекомендации по усовершенствованию процесса укладки окомкованной агломерационной шихты на агломерационную ленту, которые позволят сформировать слой шихты с заданным распределением классов крупности по его высоте.

Для решения перечисленных задач перспективным представляется использование следующих методов исследования:

– научное обобщение и систематизация – для определения современного уровня и путей повышения качественных характеристик агломерационного процесса;

– экспериментальный метод – для исследования механизма формирования гранулометрического состава окомкованной агломерационной шихты в процессе ее подготовки к спеканию и при проведении измерений распределения классов крупности окомкованной агломерационной шихты по высоте слоя на агломерационной ленте;

– математическая статистика – для обработки результатов экспериментов; математическое моделирование – для исследования влияния параметров загрузочных узлов агломерационных машин на распределение классов крупности агломерационной шихты по высоте слоя на агломерационной ленте;

– лабораторная и исследовательско-промышленная апробация – для проверки разработанных технологических решений.

*Выводы.* Проведенные исследования показали, что одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности агломерационного процесса является управление процессом сегрегации окомкованной агломерационной шихты в процессе ее загрузки на агломерационную ленту. В то же время известные работы недостаточно освещают закономерности процесса формирования структуры слоя шихты на агломерационную ленту и имеют преимущественно эмпирический характер.

Таким образом, поскольку в практике обогащения железорудного сырья крайне востребованной является необходимость дальнейшего развития и совершенствования технологии агломерации, установление закономерностей процесса формирования структуры слоя окомкованной агломерационной шихты на агломерационной ленте является актуальной задачей. Эти закономерности послужат основой для разработки технологических рекомендаций по усовершенствованию процесса укладки окомкованной агломерационной шихты на агломерационную ленту, которые обеспечат сниже-

ние затрат твердого топлива в процессе спекания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бернштейн Р. С.* Повышение эффективности агломерации / Р. С. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1979. – 144 с.
2. *Базилевич С. В.* Работы по совершенствованию процессов окомкования железорудных материалов / С. В. Базилевич // Черная металлургия. – 1972. – № 4. – С. 3-6.
3. Proceedings of the 43-th Ironmaking Conference Chicago. – 1984. – V. 83. – P. 81-99.
4. Формирование структуры слоя при однослойной и двухслойной загрузке шихты на аглоленту / *Г. В. Коршиков*, М. А. Хайков, А. В. Буев [и др.] // Теплотехника и газодинамика агломерационного процесса. – К.: Наукова думка, 1983. – С. 22-25.
5. *Сейтни Н.* Сегрегация аглошихты при подаче на аглоленту / Н. Сейтни, С. Киниши, И. Едзи // Тэцу то хаганэ. – 1980. – Т. 66. – № 4. – С. 87.
6. *Сасаки С.* Сегрегация аглошихты при подаче на аглоленту / С. Сасаки, Е. Огра // Тэцу то хаганэ. – 1980. – Т. 66. – № 4. – С. 86.
7. Газопроницаемость слоя шихты на аглоленте с площадью спекания 252 м<sup>2</sup> при различных способах загрузки / *Г. В. Коршиков*, С. И. Шаров, В. П. Кайдуков [и др.] // Сталь. – 1970. – № 9. – С. 772-776.
8. *Готовцев А. А.* Оценка сегрегации агломерационной шихты / А. А. Готовцев, И. М. Сальников, В. И. Тихонов // Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке: респ. научно-технич. конф.: тезисы докл. – Днепропетровск, 1980. – С. 29-30.
9. Новое в области спекания железных руд / *Г. Беер*, Ф. Капель, Б. Эркардт [и др.] // Черные металлы. – 1976. – № 6-7. – С. 27-30.
10. *Спектор А. Н.* Сегрегация материалов по высоте слоя агломерационной шихты / А. Н. Спектор, М. И. Цейтлин, Л. С. Загаинов // Черная металлургия. – 1967. – № 19. – С. 29-30.
11. Зависимость металлургических свойств агломерата от способа загрузки шихты на спекательные тележки / *Б. К. Старшинов*, А. Е. Лебедев, З. А. Михальчук, В. Я. Пятикон // Черная металлургия. – 1972. – № 11. – С. 36-37.
12. *Спектор А. Н.* Исследование структуры флюсованного агломерата из руд КМА / А. Н. Спектор, Ю. С. Павлюков, М. И. Цейтлин // Сталь. – 1971. – № 2. – С. 102-106.
13. *Кухарь А. С.* Производство и качество агломерата / А. С. Кухарь, В. А. Мартыненко, В. П. Шевченко. – М.: Металлургия, 1977. – 55 с.
14. Рациональная загрузка шихты на аглоленту / *А. А. Готовцев*, И. М. Сальников, В. И. Тихонов, С. Г. Колода // Теплотехника и газодинамика агломерационного процесса. – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 12-17.
15. Исследование сегрегации агломерационных шихт / *Ю. А. Фролов*, С. Г. Братчиков, Е. Е. Заславский, В. Ш. Статников // Сталь. – 1974. – № 10. – С. 882-888.
16. Измерение температуры в процессе агломерации шихты / *В. А. Шурхал*, В. П. Якубовский, Е. В. Невмержицкий, В. В. Головин // Черная металлургия. – 1970. – № 4. – С. 1-3.
17. *Нещерет Н. И.* Работа оборудования аглофабрик ММК / Н. И. Нещерет // Черная металлургия. – 1957. – № 13,14. – С. 218-219.
18. *Базилевич С. В.* Интенсификация агломерационного процесса и улучшение качества агломерата при спекании тонкоизмельченных концентратов / С. В. Базилевич // Черная металлургия. – 1975. – № 24. – С. 16-23.
19. *Бернштейн Р. С.* Пути улучшения качества агломерата / Р. С. Бернштейн, С. В. Базилевич // Металлург. – 1975. – № 4. – С. 10-13.
20. *Ефимов С. П.* Влияние крупности топлива на процесс агломерации и качество агломерата / С. П. Ефимов, Г. Г. Ефименко // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1970. – № 9. – С. 21-25.
21. *Ефименко Г. Г.* Распределение углерода при окомковании агломерационной шихты /



- Г. Г. Ефименко, С. П. Ефимов // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1967. – № 4. – С. 18-23.
22. Влияние режима увлажнения агломерационной шихты на процесс спекания агломерата / *Е. Ф. Вегман*, И. М. Мищенко, А. К. Ключко, Н. И. Гирис // Черная металлургия. – 1970. – № 21. – С. 27.
23. Причины неравномерности химического и минералогического состава агломерата по высоте слоя / В. П. Пузанов, А. М. Ли, С. Х. Насыбулин [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1968. – № 4. – С. 8-12.
24. Зависимость металлургических свойств агломерата от способа загрузки шихты на спекательные тележки / Б. К. Старшинов, А. Е. Лебедев, З. А. Михальчук [и др.] // Черная металлургия. – 1972. – № 11. – С. 36-37.
25. *Каталымов А. В.* Дозирование сыпучих и вязких материалов / А. В. Каталымов, В. А. Любартович. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
26. *Савицкая Л. И.* Работа мощных агломерационных машин за рубежом / Л. И. Савицкая // Черная металлургия. – 1980. – № 20. – С. 3-18.
27. *Пазюк М. Ю.* Особенности формирования слоя полидисперсных сыпучих материалов / М. Ю. Пазюк, В. И. Гранковский, Г. В. Туровцев // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 10. – С. 13-16.
28. *Ball D. F.* Sile and carbon segregation in sinter plant mixes / D. F. Ball // Pounder Tech. – 1974. – V.1. – P. 39-41.
29. Исследование и совершенствование укладки шихты на аглоленту / *С. Н. Петрушов*, А. П. Полухин, Л. М. Рузанов [и др.] // Теплотехника и газодинамика агломерационного процесса. – К.: Наукова думка, 1983. – С. 29-33.
30. Повышение качества агломерата / *В. Н. Быткин*, Б. А. Станишевский, Н. И. Бутенко, В. Г. Болгов // Днепропетровск: Промінь, 1973. – 48 с.
31. *Бернштейн Р. С.* Применение вибропитателя для загрузки агломерационных машин / Р. С. Бернштейн, Ю. А. Фролов // Металлург. – 1977. – № 7. – С. 12-13.
32. Исследование усадки шихты в начальный период спекания / *П. А. Половой*, В. И. Гранковский, В. П. Пузанов [и др.] // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1978. – № 8. – С. 32-35.
33. Математическая модель усадки слоя шихты в начальный период спекания / *А. Н. Николаенко*, В. И. Гранковский, В. Н. Погорелов [и др.] // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 2. – С. 9-12.
34. *Kondoh M. Okabe* u aut. Interpretation cinematigine d'essais de chargement a l'echelle 1 dans un haut fonrean a guculard sans cloche / M. Kondoh, Y. Konishi // Revue de Metallurgie. – 1981. – N. 8-9. – P. 733-744.
35. *Русаков П. Г.* Исследование закономерностей распределения неоднородного сыпучего материала по откосу / П. Г. Русаков, Н. Ф. Русаков, В. Г. Морозов // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1985. – № 6. – С. 15-19.
36. *Русаков П. Г.* Описание сегрегации агломерационной шихты и других сыпучих материалов / П. Г. Русаков, Н. Ф. Русаков // Теория и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке: научн.-техн. конф.: тезисы докл. – Днепропетровск: ДМетИ, 1985. – С. 159-160.

Стаття надійшла до редакції 26.05.2009 р.  
Рецензент – проф. А.М. Ніколаєнко