

*Дорогой Е.В.,
к.т.н. Попов Г.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина,
evgeniy.dorogoy@gmail.com)*

ВЛИЯНИЕ КОНУСНОСТИ И УГЛА НАКЛОНА ОКОМКОВАТЕЛЯ НА ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ЕГО ПРОСТРАНСТВЕ

Проведено аналіз розподілення матеріалу у просторі моделі циліндричного та конусного огрудкувачів з різними кутами розкриття конусів. Зроблено висновки за результатами виконаної роботи.

***Ключові слова:** циліндричний огрудкувач, конусний огрудкувач, агломераційна шихта, розподіл матеріалу.*

Проведен анализ распределения материала в пространстве модели цилиндрического и конусного окомкователей с разными углами раскрытия конуса. Сделаны выводы по результатам выполненной работы.

***Ключевые слова:** цилиндрический окомкователь, конусный окомкователь, агломерационная шихта, распределение материала.*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями. В условиях рыночной экономики конкурентоспособность предприятий металлургического комплекса обусловлена не только высокими показателями качества конечной продукции, но и качеством полупродукта, получаемого после основных переделов. В связи с этим становится очевидной необходимостью производства агломерата с заданными металлургическими свойствами, обладающего рациональным соотношением цена-качество. Агломерационные фабрики Украины, зачастую построенные в середине прошлого века, уже давно работают на пределе своей проектной мощности, что отрицательно сказывается на качестве производимого агломерата. В сложившихся условиях необходима разработка таких технических и технологических приемов ведения производства, которые позволили бы не только сохранить продуктивность на высоком уровне, но и значительно повысить качество производимого агломерата.

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время известны следующие методы интенсификации агломерационного производства: окускование руд естественной основности < 10 мм с топ-

ливом [1], производство агломерата повышенной основности [2], управление условиями формирования жидкой фазы [3], повышение прочности агломерата за счет использования доломитизированного известняка и окиси алюминия [4], двуслойное спекание агломерационной шихты [5], комбинированный нагрев и термообработка спека горячим (800-1000 °С) газом, использование извести в качестве интенсифицирующей добавки [6], глубокая механическая обработка агломерационного спека, подогрев агломерационной шихты с целью исключения переувлажнения спекаемого слоя, обогащение воздуха кислородом [7], накатывание топлива на гранулы окомкованной шихты, повышение высоты агломерируемого слоя [8].

Также не редко при реконструкции агломерационных фабрик для повышения их производительности прибегают к увеличению размеров палет, длинны агломерационной ленты, повышению мощности эсгаустеров. Несомненно, эти методы способны повысить производительность аглофабрик, но, в то же время, требуют немалых средств на свою реализацию.

Наибольший интерес, наряду с остальными, представляет такой метод интенсификации агломерационного производства, как повышение высоты слоя спекаемого агломерата. В соответствии с закономерностями слоевого теплообмена [2], по мере перемещения высокотемпературной зоны вниз, растут максимальные температуры в зоне формирования агломерата, а так же происходит расширение так называемой тепловой волны, то есть увеличение времени воздействия высоких температур на спекаемый материал. Следовательно, чем ниже от поверхности расположен слой полученного агломерата, тем большей прочностью он обладает.

По данным [2] при спекании криворожской руды с увеличением высоты слоя от 200 до 280 мм средний размер куска агломерата после испытания в барабане увеличился с 6,6 до 7,1 мм, а выход фракции > 10 мм – с 54,0 до 71-73 %. Более наглядные результаты дает повышение высоты спекаемого слоя с 287 до 400 мм в условиях аглофабрики ЗСМК: выход годного увеличился с 62-64 до 71-73 %, содержание топлива в шихте снизилось с 4,25 до 3,2 %, содержание FeO в агломерате снизилось с 18-20 до 12-15 % с соответствующим улучшением восстановимости.

Необходимо отметить, что агломерация в высоком слое позволяет отказаться от специальной термообработки спека с неминуемым снижением производственных затрат.

На многих зарубежных фабриках, в шихте которых содержится незначительное количество концентрата, технология агломерации в высоком слое применяется давно. Широкому распространению этой технологии на

отечественных агломерационных фабриках препятствует высокое содержание тонкоизмельченных концентратов, что обуславливает низкую газопроницаемость окомкованной агломерационной шихты, и говорит о необходимости разработки эффективных технологических приемов ведения операции окомкования и оснащения агломерационных фабрик соответствующим оборудованием.

Постановка задач. Целью проведенной работы было уточнение распределения материала в пространстве барабанных (конусного и цилиндрического) окомкователей. Эта работа является важным этапом разработки рациональной модели процесса окомкования тонких концентратов, т.к. получение на выходе из устройства шихты заданного монофракционного состава обеспечивает необходимую для поднятия высоты агломерируемого слоя газопроницаемость без дорогостоящей замены эксгаустерного оборудования.

Данная работа является продолжением ранее начатых исследований, и представляет собой более подробное рассмотрение вопросов механики движения материала в процессе его нахождения в окомкователе, перераспределения (сегрегации) по крупности в процессе окомкования.

Представление основного материала исследования. Исследования проводились на модели цилиндрического и двух моделях конусного окомкователей (имеющих угол раскрытия конуса 5 и 20 градусов), с кольцевой перегородкой со стороны разгрузки высотой 1 см. Параметры данных моделей приведены в таблице 1.

Согласно плану проведения эксперимента была проведена серия опытов на модели цилиндрического и серия опытов на моделях конусных окомкователей.

В качестве базового режима работы модели цилиндрического окомкователя был выбран режим с наклоном образующей цилиндра, равным 5° , в сторону разгрузки (что близко к углу наклона промышленных окомкователей). В качестве опытных были выбраны режимы работы с углами наклона 5, 10, 15° в сторону, противоположную стороне разгрузки. В качестве среды моделирования использовался железорудный концентрат (ЖРК) крупностью ≤ 1 мм, а также предварительно окомкованный до крупности 3-5 мм и подсушенный концентрат («микроокатыши»). Скорость вращения модели барабана-окомкователя для всех опытов была постоянной и равнялась 17 об/мин. В качестве опытных для моделей конусного окомкователя были выбраны режимы работы с углами наклона 3, 6, 9° в сторону, противоположную стороне разгрузки. В остальных условиях опыта соответствовали вышеописанным (с моделью цилиндрического окомкователя).

Таблица 1 – Параметры моделей цилиндрического и конусного окомкователей

| Параметр | Цилиндрический | Конусный (5°) | Конусный (20°) |
|--|----------------|------------------|-------------------|
| Длина, м | 0,62 | 0,69 | 0,54 |
| Большой диаметр, м* | 0,57 | 0,72 | 0,74 |
| Меньший диаметр, м* | | 0,6 | 0,32 |
| Высота кольцевой перегородки, м | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Скорость вращения, об/мин | 17 | 17 | 17 |
| * – под бóльшим диаметром понимают основание конуса, под меньшим – его вершину | | | |

Исследования проходили по следующей схеме: после измерения массы материала в модели (которое проводилось после прекращения выхода материала) на ее основе делалась навеска ЖРК и микроокатышей в соотношении 70/30 (данное отношение было выбрано интуитивно, т.к. целью опытов было выявление общей картины движения материала). Взвешенный материал загружался в пространство модели двумя порциями, как показано на рисунке 1, а: сначала производилась загрузка микроокатышей 1 под заднюю стенку устройства, после производилась загрузка ЖРК 2 ближе к стороне выгрузки.

Данная схем призвана показать выход микроокатышей в переднюю часть барабана, а ЖРК к его задней стенке, иными словами противоток материала. После запуска установки через 10 секунд (время засекалось с помощью механического секундомера «Слава» СДС) барабан останавливался и проводился отбор проб, как показано на рисунке 1, б, из пяти точек по длине барабана (на расстоянии 12, 24, 36, 48 и 60 см от стороны загрузки для цилиндрического и 10,8, 21,6, 32,4, 43,2 и 54 см для конусного окомкователей). Также замерялась толщина слоя материала в этих точках для анализа изменения его профиля в процессе моделирования. В ходе отбора проб материал отбирался перпендикулярно оси вращения барабана снизу вверх. При этом пробу старались взять равномерно по всему радиусу. Отобранную пробу (массой 200 грамм, кроме режима работы окомкователя с углом наклона 10 и 15 градусов для модели цилиндрического окомкователя, и с углом наклона 6 и 9 градусов для модели конусного окомкователя, когда масса пробы составляла 500 грамм, что связано с большим количеством материала в барабане. Для режима работы конусного окомкователя с углом наклона 3 градуса масса пробы составляла 300 грамм) рас-

сеивали на сите с размером ячейки 1 мм, подрешетный и надрешетный продукты взвешивали.

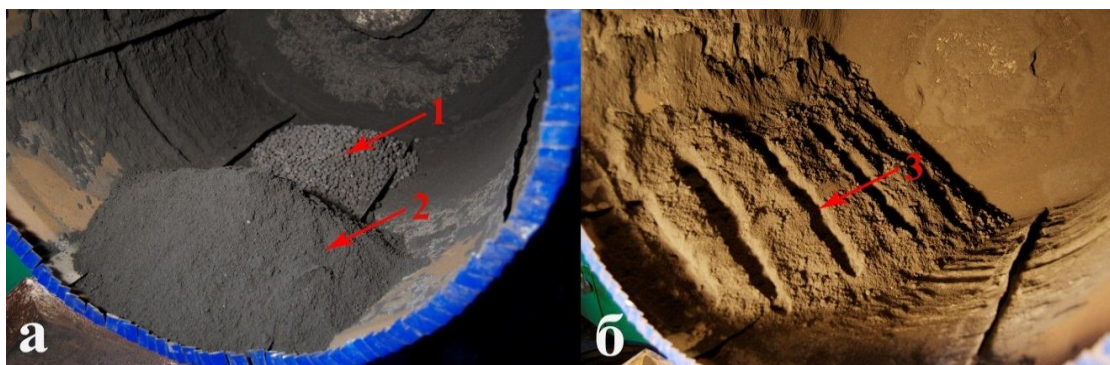


Рисунок 1 – Схема загрузки модели окомкователя (а) и отбора проб (б)

Зная общую массу пробы, а также массы подрешетного (фракция ≤ 1 мм) и надрешетного (фракция 3-5 мм) продуктов можно посчитать процентное содержание их в пробе.

Все модели были оборудованы кольцевой перегородкой, которая показана на рисунке 2. Она позволяет увеличить время пребывания материала в пространстве модели. Ее высота во всех случаях равнялась $h_1 = h_2 = h_3 = 1$ см.

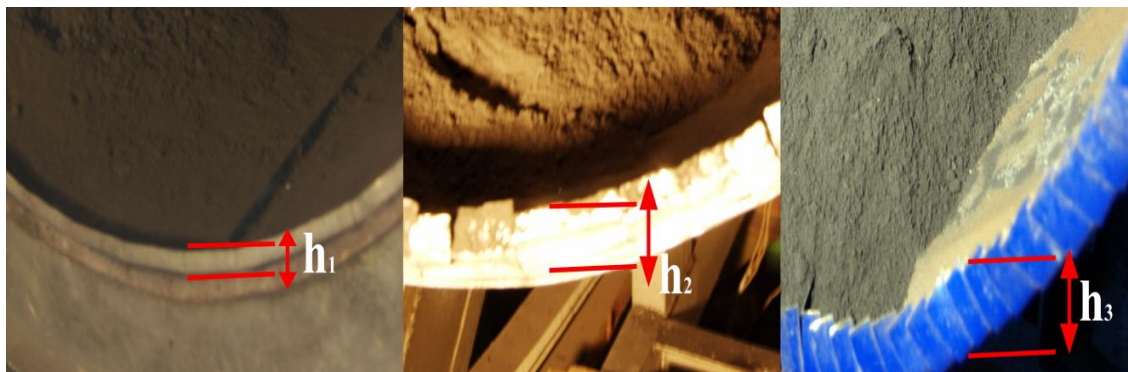


Рисунок 2 – Общий вид кольцевой перегородки

Полученные в результате исследований данные были обработаны в среде табличного процессора «MS Excel».

По мере роста угла наклона моделей увеличивалась масса материала, находящегося в их полости. В таблице 2 приведена масса материала, а также масса микроокатышей и концентрата для каждого из режимов работы.

Таблица 2 – Масса микроокатышей и концентрат в пространстве окомкователя в зависимости от угла его наклона

| Угол наклона, град. | Масса материала, кг | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| | Модель окомкователя | | |
| | Цилиндрического | Конусного (5^0) | Конусного (20^0) |
| 0 | 11,17/7,82/3,32 | 5,99/4,19/1,79 | 7,7/5,39/2,31 |
| 3 | – | 16,7/11,69/5,01 | 12,93/9,05/3,88 |
| 5 | 20,7/14,49/6,21 | – | – |
| 6 | – | 26,0/18,2/7,8 | 17,8/12,46/5,34 |
| 10 | 33,45/23,42/10,35 | – | – |
| 9 | – | 45,2/31,64/13,56 | 28,78/20,15/8,64 |
| 15 | 44,45/31,12/13,36 | – | – |

Было установлено, что цилиндрический окомкователь не обеспечивает удовлетворительную сегрегацию материала в процессе своей работы, тем самым не достигается необходимое качество окомкования шихты на выходе. Выпадение пробы 1 при режиме работы с углом наклона в 15 градусов объясняется резким уходом материала к глухой стенке окомкователя при включении двигателя, что не было учтено при планировании эксперимента. На рисунке видно, что явление сегрегации начинает проявляться лишь на расстоянии 24 см от разгрузочного конца (проба № 2), что не может обеспечить выход монофракционного материала из окомкователя. Максимальное содержание микроокатышей в пробе №1 для модели цилиндрического окомкователя находилось на уровне 12 %.

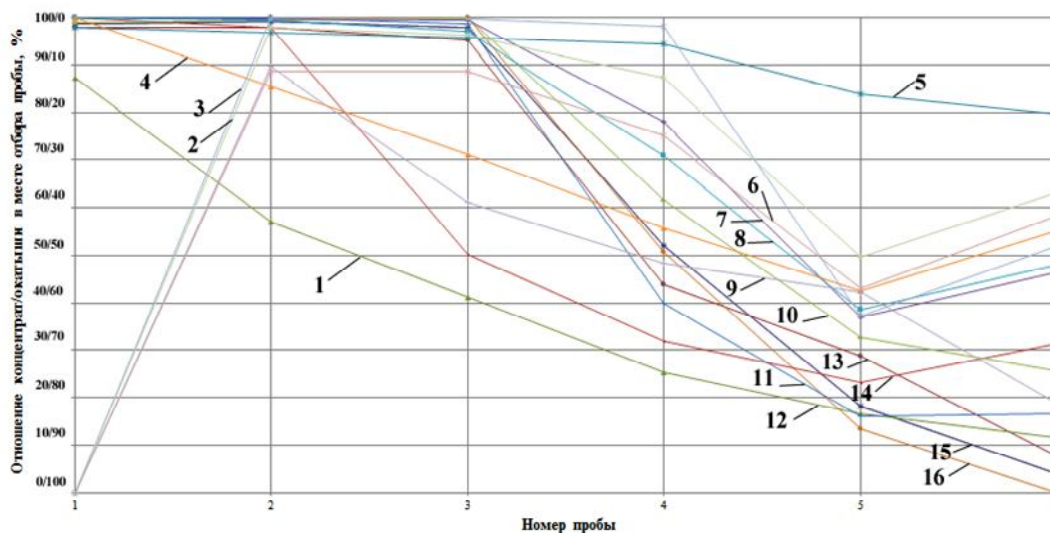
Распределение материала в пространстве моделей конусных окомкователей подтверждает эффект сегрегации, который наблюдается при работе данных устройств на любых углах наклона (рисунок 4 и 5). Здесь максимальное содержание микроокатышей в первой пробе составляло 100 % для обеих моделей (с углом раскрытия конуса 5^0 и 20^0).

Рост сегрегации происходил при увеличении времени пребывания материала в окомкователе, а также при росте угла наклона устройства. Стоит отметить, что с ростом конусности устройства влияние угла наклона на процесс сегрегации увеличивается, что следует из рисунков 4 и 5.

Максимальная толщина слоя шихты наблюдалась на моделях цилиндрического и конусных окомкователей при больших углах (более 5^0) наклона со стороны, противоположной выгрузке. Это негативно влияет на образование гранул в зоне увлажнения, которая находится в первой трети окомкователя (с противоположного выгрузке конца).

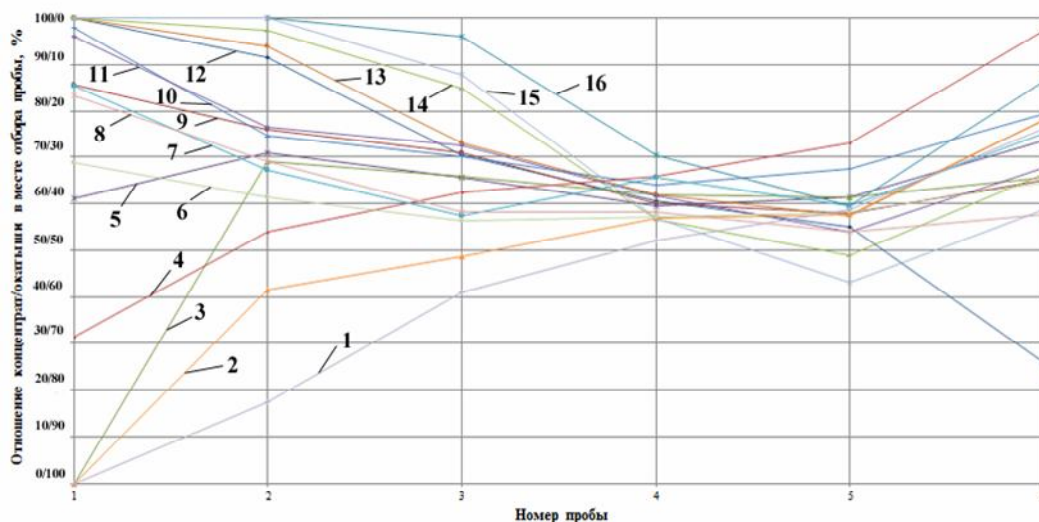
Конусные окомкователи обеспечивают сегрегацию материала на всех углах наклона. Принимая во внимание вышесказанное, рациональными являются углы наклона $3-5^0$.

Данные исследования были проведены в «транспортном» режиме работы окомкователей, т.е. они не выполняли полезной работы по окомкованию загруженного в них материала. Это связано с необходимостью исследования только процесса сегрегации и исключения влияющих на этот процесс посторонних факторов.



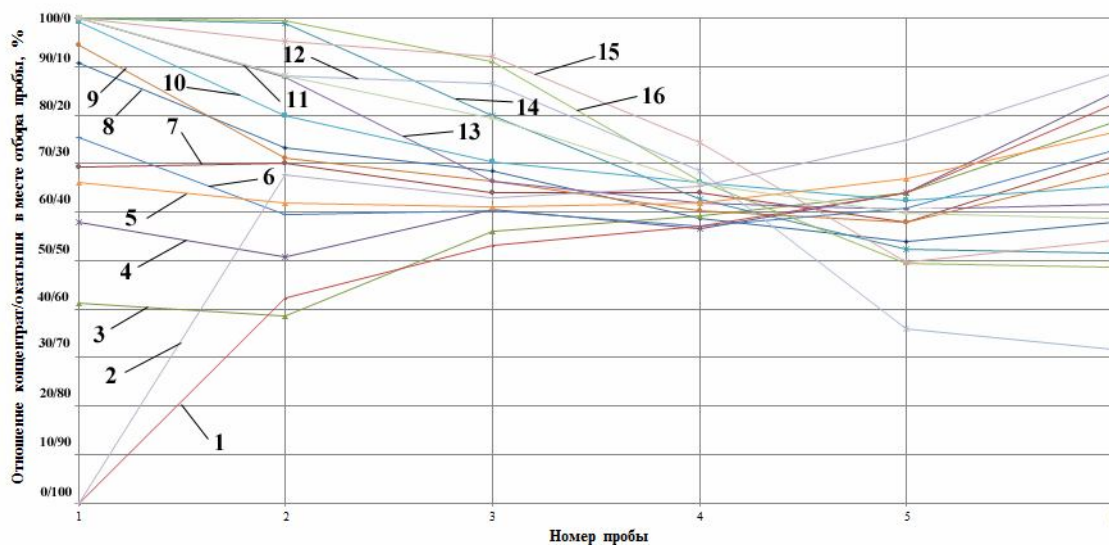
15 – 0⁰ 10 с; 13 – 0⁰ 20 с; 14 – 0⁰ 30 с; 1 – 0⁰ 210 с; 5 – 5⁰ 10 с; 16 – 5⁰ 20 с; 11 – 5⁰ 30 с; 12 – 5⁰ 210 с; 10 – 10⁰ 10 с; 7 – 10⁰ 20 с; 8 – 10⁰ 30 с; 4 – 10⁰ 210 с; 3 – 15⁰ 10 с; 6 – 15⁰ 20 с; 2 – 15⁰ 30 с; 9 – 15⁰ 210 с.

Рисунок 3 – Распределение материала в пространстве модели цилиндрического окомкователя



12 – 0⁰ 10 с; 9 – 0⁰ 20 с; 5 – 0⁰ 30 с; 3 – 0⁰ 210 с; 16 – 3⁰ 10 с; 13 – 3⁰ 20 с; 10 – 3⁰ 30 с; 4 – 3⁰ 210 с; 14 – 6⁰ 10 с; 9 – 6⁰ 20 с; 7 – 6⁰ 30 с; 2 – 6⁰ 210 с; 15 – 9⁰ 10 с; 8 – 9⁰ 20 с; 6 – 9⁰ 30 с; 1 – 9⁰ 210 с.

Рисунок 4 – Распределение материала в пространстве модели конусного (5⁰) окомкователя



8 – 0° 10 с; 7 – 0° 20 с; 4 – 0° 30 с; 3 – 0° 210 с; 14 – 3° 10 с; 9 – 3° 20 с; 6 – 3° 30 с; 1 – 3° 210 с; 16 – 6° 10 с; 13 – 6° 20 с; 10 – 6° 30 с; 5 – 6° 210 с; 12 – 9° 10 с; 15 – 9° 20 с; 11 – 9° 30 с; 2 – 9° 210 с.

Рисунок 5 – Распределение материала в пространстве модели конусного (20°) окомкователя

Выводы.

Явление сегрегации материала в большей степени развито в конусном окомкователе, и практически отсутствует в окомкователе цилиндрическом.

Влияние угла раскрытия барабана конусного окомкователя на ход процесса сегрегации становится более заметным при углах наклона более 5°.

С увеличением углов наклона окомкователей в сторону, противоположную стороне разгрузки, увеличивается масса материала, находящегося в них, что негативно сказывается на надежности устройства.

Рациональными углами наклона при работе конусных окомкователей являются углы наклона до 5°.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение механизма увлажнения, гранулообразования и упрочнение гранул в пространстве конусного окомкователя.

Библиографический список

1. Ефименко Г.Г. *Металлургия чугуна* / Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. – Киев: Вища школа, 1981. – 495 с.
2. Коротич В.И. *Агломерация рудных материалов* / В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.

3. Ефименко Г.Г. Процессы смачивания при спекании железных руд и концентратов / Г.Г. Ефименко, Д.А. Ковалев // – Изв. АН СССР, Металлы. – 1965. – № 1. – С. 11–17.

4. Утков В.А. Подготовка и комплексная переработка металлургического сырья / В.А. Утков, В.В. Кашин, С.В. Иванова. – М.: Металлургия, 1970. – С. 107–110.

5. Исакова Я. Двухслойное спекание на агломашине в Закамацу / Я. Исакова, К. Сугавара, Н. Насака. [и др.] // Тэцу то хаганэ. – 1979. – Т.65, № 2. – С. 4.

6. Смородинников А.В. Применение извести на аглофабриках СССР / А.В. Смородинников, Ф.Ф. Колесанов, Н.С. Климова [и др.] // Бюл. Инт-та Черметинформация. – 1978. – Серия 3, вып. № 2. – 34с.

7. Савицкая Л.И. Окускование руд и доменное производство в капиталистических странах в 1976-1980 гг. / Л.И. Савицкая // Бюл. Ин-та Черметинформация. – 1981. – № 20.

8. Базелевич С.В. Пути увеличения высоты слоя шихты при агломерации / С.В. Базелевич // Металлург. – 1975. – № 22. – С. 22–24.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.