

*Стойкова Я.А.,  
д.т.н. Бережной М.М.  
(КНУ, г. Кривой Рог, Украина)*

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМКУЕМОСТИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Розглянуто доцільність застосування показників грудкуємості тонкодисперсних залізорудних матеріалів, а також основних параметрів, що визначають дані показники. На основі аналізу існуючих методик визначення показників грудкуємості показана необхідність їх удосконалення.*

***Ключові слова:** тонкодисперсні матеріали, обкотиши, гранули, вологоємність, показник грудкуємості.*

*Рассмотрена целесообразность применения показателей комкуемости тонкодисперсных железорудных материалов, а так же основных параметров, определяющих данные показатели. На основе анализа существующих методик определения показателей комкуемости показана необходимость их усовершенствования.*

***Ключевые слова:** тонкодисперсные материалы, окатыши, гранулы, влагоемкость, показатель комкуемости.*

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Наиболее эффективным методом окускования мелкодисперсного сырья из продуктов, каковым является концентрат обогащения руд, представляется способ гранулирования – производство окатышей. В последние годы сырьевая база имеет тенденцию к понижению крупности концентрата, подаваемого для производства окатышей. Это повышает роль предварительной оценки его комкующих свойств.

Для реализации процесса получения окатышей на производственном уровне необходимо рассмотреть вопрос комкуемости тонкодисперсных материалов крупностью  $-0,074$  мм. Процесс окомкования в основном зависит от взаимодействия твердых и жидких фаз, осуществляемого в результате накатывания шихты на локально переувлажненные её частицы – зародыши при грануляции под действием молекулярных и капиллярных сил. Для разработки алгоритма процесса окомкования для каждой отдельной шихты с различными компонентами и достижения условий для максимальной прочности окатышей, важно опре-

деление различных параметров материалов, влияющих на сцепление, кинетических закономерностей и хода процесса окомкования.

Различные мелкодисперсные материалы обладают разной способностью к окомкованию и прочностными характеристиками готового продукта, поэтому они характеризуются различной комкуемостью. Показатель комкуемости является важной характеристикой свойств тонкодисперсных материалов, позволяющей оценить их роль в процессе окомкования. Комкуемость определяется прочностью сцепления частиц влажного материала. Однако, на практике в производственных масштабах для планирования алгоритма процесса грануляции не рассчитывают показатель комкуемости, а пользуются параметром оптимальной влажности. Это происходит из-за недостаточной точности определения и отсутствия строгого научного обоснования показателя комкуемости, по расчетам которого можно значительно улучшить процесс получения сырых окатышей.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [1] для определения оптимальной прочности сырых окатышей не использовали показатели комкуемости. Способность материалов к окомкованию определяли соотношением между величинами капиллярной влагоемкости, максимальной молекулярной влагоемкости и скорости насыщения водой перерабатываемых материалов.

Максимальную молекулярную влагоемкость (ММВ) определяли по способу «влагоемких сред». Было сделано заключение, что молекулярная и капиллярная влагоемкости определяются гранулометрическим составом и гидрофильностью тонкодисперсных материалов.

Рассмотренные ранее модели окомкования [2], основанные на оценке комкуемости реальных шихтовых материалов по величине капиллярной и молекулярной влагоемкостей, являются характеристиками структурно-механических и энергетических свойств материала. Однако, проведенные исследования [2] с тонкоизмельченным концентратом (РОФ-1 и РОФ-2, СевГОКа) показали различные влагоемкости концентратов одинакового химического и гранулометрического состава. Разница концентратов РОФ-1 и РОФ-2 заключалась в способе измельчения. Концентрат РОФ-1 полученный способом самоизмельчения руды имел капиллярную влагоемкость ниже, чем концентрат РОФ-2, полученный способом измельчения руды в шаровых мельницах. Частицы самоизмельченной руды имеют большую удельную поверхность и меньшее количество энергетически неуравновешенных центров, чем концентрат руды, измельченной в шаровой мельнице. Поэтому утверждения о зависимости влагоемкости от гидрофильности и грансостава, сделанные в работе [1], можно считать не полным.

Решающее влияние на силы сцепления оказывает состояние слоя зерен частиц шихты, и прежде всего, наличие полярных радикалов и атомов с большим отрицательным электростатическим потенциалом.

В работе [3] предложено оценивать показатель комкуемости тонкодисперсных материалов через характеристические влагоемкости: ММВ – максимальная молекулярная влагоемкость; МГВ – максимальная гигроскопическая влагоемкость; МКВ – максимальная капиллярная влагоемкость. Показатель комкуемости было предложено рассчитывать по формуле:

$$K = \frac{MMB}{MKB - MMB} \quad (1)$$

Однако, если более тщательно рассмотреть показатель ММВ и его составляющие: пленочная, гигроскопическая, физически связанная вода; можно сказать, что ММВ не имеет строгого научного обоснования ввиду недостаточной величины определения и условности показателя.

В работе [4] было предложено использовать показатель комкуемости «К», выраженный через аргументированные характеристические влагоемкости: МКВ, МГВ и наименьшую капиллярную влагоемкость (НКВ):

$$K = \frac{НКВ - МГВ}{МКВ - НКВ} \quad (2)$$

Методика оценки комкуемости, предложенная в работе [4] характеризуется влагоемкостями, равнозначность влияния которых, определена не в полной мере, так как следует иметь ввиду, что характеристические влагоемкости позволяют оценивать величину оптимальной влажности шихты, но не дают полной характеристики для определения комкуемости материалов.

В работе [5] так же установлено, что характеристические влагоемкости (МКВ, НКВ, МГВ) не дают достаточно полной информации о комкуемости тонкодисперсных материалов при окомковании. Необходимо учитывать влияние отношения объемов воды и пор на прочность сырых окатышей.

Позднее была разработана методика определения комкуемости, учитывающая зависимость влагоемкости от коэффициента скорости капиллярной пропитки, вследствие чего снижается случайная ошибка определения показателя комкуемости. Однако применение характеристических влагоемкостей, как составляющих для определения коэффициента комкуемости, остается целесообразным, хотя способ определения влагоемкостей нуждается в усовершенствовании.

Показатели характеристических влагоемкостей, которые, как говорилось выше, не дают полной информации о комкуемости тонкодисперсных материалов, было предложено определять в работе [4] с помощью скорости насыщения по закону фильтрации Дарси:

$$v^2 = R \cdot t, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость насыщения;  $R$  – коэффициент проницаемости;  $t$  – время впитывания.

Однако, в уравнении (3) время насыщения прямо пропорционально квадрату скорости насыщения, а учитывая размерность скорости (м/с) можно сделать вывод о том, что время насыщения при определении скорости насыщения, с использованием значений входящих в формулу (3), должно находиться в знаменателе.

**Постановка задачи исследования.** Коэффициент комкуемости является важной характеристикой для определения склонности тонкодисперсных материалов к образованию гранул. На сегодня, показатели комкуемости предложено определять лишь за счет характеристических влагоемкостей. Однако, ни методы определения характеристических влагоемкостей, ни роль их влияния на показатель комкуемости в достаточной степени не определены. Ввиду этого, на практике не используют данный показатель, хотя его определение является важной характеристикой шихтовых материалов в процессе грануляции. Поэтому задачей данного исследования является определение величины влияния различных характеристических влагоемкостей на комкуемость тонкодисперсных материалов, а так же изучение способов нахождения этих влагоемкостей с помощью скорости фильтрации.

**Изложение материалов и результатов.** В определении показателя комкуемости, выражаемого с помощью характеристических влагоемкостей тонкодисперсных железорудных материалов, скорость насыщения играет важную роль, но методика её определения нуждается в усовершенствовании. В работе [4] сделано утверждение, что чем плотнее слой материала (чем меньше  $R$ ), тем ниже угол наклона прямой, выраженной зависимостью (3). Но, судя по выражению (3), оно не является функцией прямой линии. Однако, даже если рассмотреть общий вид закона фильтрации Дарси [6], устанавливающего линейную зависимость между объемным расходом жидкости и гидравлическим градиентом в пористых средах, можно сказать, что с помощью закона Дарси, в линейной интерпретации, мы не можем в полной мере описать скорость насыщения, ввиду того, что он является эмпирическим и адекватно описывает характер движения поровой жидкости лишь при относительно малых градиентах давления, не учитывая механические воздействия при

грануляции. А формула выражающая закон Дарси в общем виде, качественно отличается от формулы, представленной в работе [4]:

$$V = Q/F = (k/m)(Dp/L), \quad (4)$$

где  $V$  – скорость насыщения;  $Q$  – объемный расход жидкости;  $F$  – площадь поперечного сечения образца;  $k$  – коэффициент проницаемости среды;  $m$  – динамическая вязкость жидкости;  $Dp$  – перепад давления по длине среды  $L$ .

При определении скорости насыщения железорудных материалов жидкостью важно учитывать не только их структурно-механические свойства, характеризующие коэффициентом проницаемости, а так же и энергетические свойства, которые не учитываются при определении скорости фильтрации по закону Дарси в данной нам интерпретации.

То, что скорость насыщения не равномерна по времени доказывают исследования, проведенные с концентратом НКГОКа в серии опытов в исследовательской лаборатории Криворожского национального университета в 2010 г. С целью изучения скорости насыщения была использована колонка, дно которой выполнено в виде сетки, заполненная заранее взвешенным и высушенным концентратом. Ее помешали в стакан, заполненный предельно увлажненным песком, в котором имелся горизонтальный капилляр, позволяющий отслеживать уровень течения жидкости в колонке. В результате контакта с увлажненным песком происходило увлажнение пробы концентрата, в ходе которого оценивали объем поглощенной воды за различные промежутки времени. Один из результатов опытов представленный на рисунке, показывает, что линия на графике не является прямой:

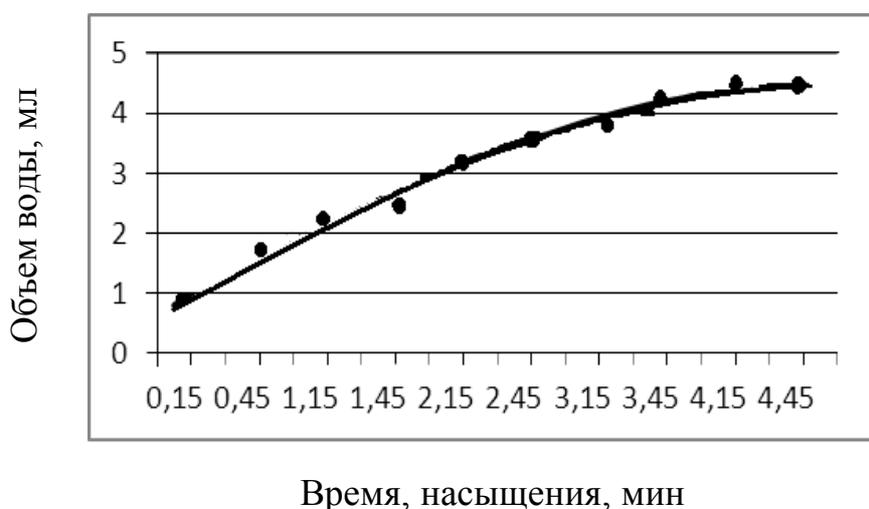


Рисунок 1 – Зависимость объема воды, поглощенной концентратом, от времени насыщения

Из графика видно, что насыщение материала влагой происходит неравномерно в каждый момент времени. Скорость насыщения сухого материала со свободными порами значительно выше, чем у материала влажного. После полного насыщения сыпучий материал перестает впитывать влагу, а следовательно и объем поглощенной воды будет иметь конечное значение, и кривая на графике переходит в прямую горизонтальную линию. То есть определение скорости насыщения по формуле (3), в виде произведения, и по формулам закона фильтрации Дарси (4), в интерпретации, выражающей линейные зависимости, не дает возможности определить характеристические влагоемкости. Формула (3) не выражает линейную зависимость, о которой говорится в работе [4], но если поставить время насыщения в знаменатель, то можно говорить о целесообразности использования данного выражения при нахождении характеристических влагоемкостей. При полном насыщении материала влагой газообразная фаза в его порах отсутствует. Прямое взаимодействие частиц шихты не возможно из-за расклинивающего действия пленок связанной воды. Каждый конкретный дисперсный материал, в зависимости от поверхностных свойств и степени уплотнения, может удерживать только определенное количество влаги. Безусловно, для определения комкуемости тонкодисперсных железорудных материалов необходимы величины их характеристических влагоемкостей. Однако способ их определения нуждается в усовершенствовании. А интерпретация закона фильтрации Дарси, представленная ранее, требует доработок.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Сравнение численных значений водно-физических свойств тонкодисперсных материалов позволяет прогнозировать их поведение в процессе окомкования, и, следовательно, оценивать комкуемость. Показатель комкуемости является универсальным параметром, характеризующим способность тонкодисперсных материалов к образованию прочных гранул при оптимальной влажности. Использование показателя комкуемости позволяет оптимизировать состав шихты окомкования и интенсифицировать этот процесс. Однако, показатели комкуемости, которые предложено применять сегодня на практике, выражены показателями, для нахождения которых используются не совершенные методики определения характеристических влагоемкостей, что затрудняет возможность их практического использования.

Направление дальнейших исследований заключается в разработке более совершенных методик определения характеристических влагоемкостей, а так же влияния на комкуемость других показателей и свойств тонкодисперсных материалов.

### **Библиографический список**

1. Прохорович В.А. Повышение влагоемкости железорудных концентратов. / В.А. Прохорович, А.Н. Заостровский // *Химическая технология*. – 2010. – С.58-59.

2. Серебряник Г.И. Комкуемость тонкодисперсных шихт / Г.И. Серебряник // *Сталь*. - Вып.8. – 1976. – С. 8-10.

3. Витюгин В.М. Исследование процесса гранулирования окатышем с учетом свойств комкуемых дисперсий: дис. на получение научн. степени док. техн. наук: спец.09.04.01 «Металлургия черных металлов» / В.М. Витюгин; ТомПИ. – Томск; 1975. – 313с.

4. Бережной Н.Н. Комкуемость железорудных концентратов и шихт / Н.Н. Бережной, Е.С.Федоров, Т.Т. Бердышева и др. // ЦНИИ Черметинформация. С.3, Вып.2. – 1976. –38с.

5. Трушников В.Е. Исследование комкуемости мелкодисперсного сырья из отходов мелочи фосфоритов и хвостов обогащения, содержащих фосфор и магний, для электротермического получения удобрений/ В.Е. Трушников // *Ульяновский госуд. техн. университет*. – 2009. – С.83-90.

6. Басниев К.С. Подземная гидромеханика: уч.[для студентов ВУЗов] / К.С. Басниев, И.Н. Кочина, В. М. Максимов. – М.: Недра. – 1993. – 416 с.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.**