

УДК 658.011.56

В.А. КОНДРАТЕЦ, канд. техн. наук., проф.  
Кировоградский национальный технический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ПЕСКОВ ДВУХСПИРАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

В статье приведены результаты исследования влагосодержания песков двухспиральных классификаторов в промышленных условиях на примере руд одного из карьеров Кривбасса. Доведено, что влагосодержание песков для определенного месторождения является величиной постоянной и не зависящий от состояния технологического оборудования и песковой нагрузки.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Черная металлургия Украины испытывает нехватку рудного сырья, две третьих которого сегодня составляют продукты обогащения. Измельчение железных руд при обогащении является наиболее энерго- и материалоемким процессом, который осуществляется не в оптимальных режимах в основном из-за отсутствия некоторых информационных средств. Наиболее трудно получать информацию с песковых потоков спиральных механических классификаторов, представляющих смесь влажных песков и добавляемой в песковый желоб воды. Усложнение разработки информационных средств таких потоков в основном связано с тем, что влагосодержание песков считают неизвестным и подлежащим определению. Отсутствие таких информационных средств приводит к значительным убыткам, что не соответствует основным положениям Государственной научно-технической программы «Ресурсосохраняющие технологии нового поколения в горнометаллургическом комплексе». Учитывая это, тема статьи, посвященной решению части этой задачи, является актуальной. Материалы, вошедшие в данную публикацию, получены в процессе выполнения научно-исследовательской темы «Компьютерно-интегрированная система автоматического регулирования соотношения руда/вода в шаровых мельницах с циркулирующей нагрузкой» (государственный регистрационный номер 0105U008334).

**Анализ исследований и публикаций.** Решением задач автоматического управления измельчением руды в барабанных мельницах занимаются ученые и практики длительное время. Научные работы В.В. Диаконенко, В.А. Воронова, А.Н. Марюты, М.И. Горбийчука, Ю.Г. Качана, Е.В. Кочуры, В.С. Моркуна, В.М. Назаренка, И.В. Новицкого, В.С. Процута, О.Н. Тихонова, О.В. Паркуян, В.А. Ульшина, В.П. Хорольского, А.Дж. Линча, Д. Гилберта и многих других посвящены этим задачам. В большинстве из них указывается на необходимость измерения влажности песков классификаторов при идентификации песковых потоков, что весьма проблематично и не позволяет продвигаться в решении этих задач. Результаты могли бы быть более эффективными, если бы знать закономерности влагосодержания песков, однако их никто не исследовал.

**Постановка задания.** Целью данной работы является исследование влагосодержания песков наиболее сложных двухспиральных механических классификаторов в условиях конкретного месторождения и технологического оборудования.

**Изложение материала и результаты.** Рассмотрим сначала теоретический подход к решению задачи. Влажность песков классификатора характеризуется содержанием общей влаги. Этот показатель включает гравитационную, капиллярную, пленочную и гигроскопическую влагу. Влажность материалов в значительной мере определяется их влагоудерживающей способностью. Она зависит от гранулометрического состава продукта и смачиваемости поверхности его частиц. Гранулометрический состав продукта обуславливает пористость и развитие поверхности массы частиц. Поверхность будет тем большей, чем меньшими будут частицы материала. Смачиваемость характеризует молекулярное взаимодействие воды с поверхностью частиц. Мерой смачивания является величина граничного угла смачивания, который создается поверхностью растекающейся капли воды с поверхностью частицы. Для определенного материала – это величина постоянная. Поэтому при определенной смачиваемости (конкретном материале) влагосодержание будет тем большим, чем меньшая крупность частиц. Это должно быть благодаря увеличению доли пленочной, капиллярной и гравитационной влаги. Увеличение массы материала может способствовать увеличению создания капиллярной сети и ухудшению условий отхода воды за счет сил земного

притяжения. Итак, в соответствии с существующими представлениями о влагосодержании измельченных материалов, количество влаги в песках спиральных механических классификаторов должно увеличиваться при росте количества и уменьшении крупности частичек материала. Однако проверка этих положений на практике не подтвердила существующее представление о влагосодержании измельченного материала в конкретных условиях, что, по-видимому, объясняется спецификой работы спирального механического классификатора.

Спиральный механический классификатор по каналу формирования песков характеризуется следующими особенностями:

пески в процессе формирования и транспортировки обезвоживаются; количество материала изменяется в широких пределах; время обезвоживания материала неизменно; крупность материала в песках изменяется сравнительно в нешироком диапазоне; обезвоживание осуществляется не в природных условиях покоя измельченного материала, а, кроме того, под действием сил давления спирали и влиянием веса материала, который движется на подъем по наклонной цилиндрической поверхности; наклонная цилиндрическая поверхность, созданная более крупным измельченным материалом вследствие промывания мелких частиц, имеет каналы для отвода выделяемой из песков воды в ванну классификатора.

Такие условия обезвоживания в спиральном механическом классификаторе позволяют сделать предположение, что влагосодержание в песках не подчиняется известным закономерностям. В соответствии с данным предположением можно сформулировать гипотезу следующим образом: «Влажность песков спирального механического классификатора для определенного материала есть величиной практически неизменной».

Процесс транспортирования песков вне водяной ванны в спиральном классификаторе в основном соответствует дренированию, при котором материал избавляется от воды [1]. Здесь происходит фильтрация под действием силы тяжести, т.е. стекания гравитационной воды через слой материала, который обезвоживается. Частично вода из материала удаляется подобно фильтрации в фильтрпрессах, так как на пески действует усилие спирали, которая вращается и перемешивает материал по искусственно созданной цилиндрической поверхности, наклонной на  $15...18^\circ$  [1]. Время обезвоживания при этом будет неизменным и равным приблизительно 60 секунд, что в 2...3 раза больше, чем в ковшовых элеваторах [1].

Песковый материал достаточно равномерный и относительно крупный по размерам. В Кривбассе его средняя крупность равна приблизительно 1,4 мм. Обезвоживание песков осуществляется за счет изменения пленочной, капиллярной и гравитационной влаги. Смачиваемость конкретного типа руды будет неизменной и этот параметр влиять на процесс практически не будет. Отмеченное значение размера частиц твердого создаст конкретную пористость, капиллярность, поверхность и гидравлические каналы между частицами. Этим будет определена конкретная неизменная влагосодержащая способность материала и его влажность.

Уменьшение размера частиц приведет к увеличению их поверхности и пленочной влаги, однако при этом возрастет количество контактных точек между частицами, где влага под действием силы, развиваемой их весом и спиралью, будет вытесняться с их поверхностного слоя, уменьшая количество воды, которая удерживалась материалом. Суженные при этом каналы между частицами будут оказывать большее гидравлическое сопротивление при выходе воды, уменьшая ее расход. Однако это не вызовет негативных последствий при наличии запаса времени для стекания воды.

Увеличение количества материала между витками спиралей приводит к возрастанию его высоты. Однако увеличение высоты обеспечивает больший напор, что способствует улучшению отвода воды с материала. Наличие силы продольного сжатия материала под действием спиралей способствует принудительному удалению воды с капилляров и точек контакта, что повышает эффективность обезвоживания в другой плоскости, где вес смеси действует меньше.

Таким образом, при формировании и транспортировании песков спирального механического классификатора возникают процессы саморегулирования, что способствует стабилизации влаги в материале. В соответствии со сказанным можно считать, что выдвинутая гипотеза теоретически подтверждается.

Известно, что какая-либо гипотеза требует экспериментальной проверки, которую в данном случае целесообразно осуществить на действующем объекте. Для этого используем статистический экспериментальный материал, полученный при комплексном исследовании обогатительных секций с двухспиральными классификаторами 2КСН-30 на НКГОКе, в котором непосредственное участие принимал автор этой статьи. Исследование проводилось на 4-й, 5-й и 6-й секциях рудообогатительной фабрики в течение четырех месяцев на каждой и общей продолжительностью семь месяцев. В процессе исследований в установленном режиме работы стержневой мельницы отбирались пробы в ее разгрузке, разгрузке шаровой мельницы, песков и слива двухспирального механического классификатора, фиксировался расход исходной руды по показаниям конвейерных весов. Опробование производилось в соответствии с правилами отбора, сокращения и обработки проб.

Влажность песков определялась непрямым методом. Кюветы с отобранными песками помещались в сушильную камеру с температурой 105...110°C, где материал высушивался до неизменного веса. По разности исходного веса и высушенной пробы определялось количество потерянной влаги. Количество потерянной воды и масса сыпучего материала давали содержание влаги в песках, по которому определяли процентное содержание твердого.

Отобранные пробы обрабатывались, сокращались и рассеивались на классы крупности. По балансу класса (-0,074 мм+0) определяли продуктивность по пескам (т/час) по зависимости

$$Q_{\Pi} = \frac{\beta_{сл} - \beta_{ст}}{\beta_{ш} - \beta_{\Pi}} Q_{исх}, \quad (1)$$

где  $\beta_{сл}$ ,  $\beta_{ст}$ ,  $\beta_{ш}$ ,  $\beta_{\Pi}$  – соответственно содержание класса (-0,074 мм+0) в сливе классификатора, разгрузке стержневой и шаровой мельниц, песках классификатора;  $Q_{исх}$  – массовый расход руды в стержневую мельницу.

Значение массового расхода песков двухспирального механического классификатора, определенное по зависимости (1), и содержание твердого в его песках для конкретного опыта заносились в таблицу экспериментальных данных. Всего в процессе исследований выполнено 229 экспериментов – 75 на 4-й секции, 86 на 5-й секции и 68 на 6-й секции.

В экспериментах содержание твердого в песках двухспирального механического классификатора изменялось от 84 до 92%, а массовый расход пескового продукта находился в пределах 120...860 т/час. Прежде всего проверялась нормальность распределения содержания твердого в песковом продукте. Весь диапазон изменения содержания твердого разбивался на интервалы одинаковой длины, равные 0,8%. Число интервалов при этом составило 10. Полученные в экспериментах значения содержания твердого группировались в интервалы. Проверка экспериментальных данных с помощью критерия Пирсона подтвердила нормальность их распределения [2]. Применение трехсигмового критерия [3] показало, что в экспериментально полученной выборке нет грубых ошибок и отбрасывать резко выделяющиеся результаты испытаний не следует. Поэтому все полученные результаты в 229 экспериментах подвергались дальнейшей статической обработке.

Учитывая проведенное число экспериментов на каждой рудообогатительной секции, при обработке экспериментальных данных принимались зависимости, предназначенные для выборок, где число испытаний превышало 60 [3]. По экспериментальным данным находили средние значения, дисперсии и средние квадратические отклонения содержания твердого в песках классификатора от его среднего значения как по отдельным секциям рудообогатительной фабрики, так и по всему массиву данных. Полученные значения показателей занесены в табл.1. В экспериментах массовый расход пескового продукта изменялся в следующих пределах: 217,6...584,5 т/час (секция 4), 121,3...860,0 т/час (секция 5), 120,0...859,4 т/час (секция 6).

С данных табл.1 следует, что все показатели достаточно близки между собой. Сравнение дисперсий между собой осуществлялось с помощью F-критерия, а средних значений содержания твердого в песковом продукте (табл.1) – с помощью t-критерия Стьюдента [4]. В результате установлено, что как дисперсии, так и средние значения, полученные в экспериментах, равны между собой и относятся к одной генеральной совокупности. Отсюда следует вывод, что содержание твердого в песковом продукте двухспирального механического классификатора не зависит от особенностей обогатительной секции, состояния ее оборудования в пределах возможностей эксплуатации и массового расхода пескового продукта.

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных, полученных при исследовании содержания твердого в песках двухспирального механического классификатора

Показатели	Производственные подразделения			
	Секция 4	Секция 5	Секция 6	Все подразделения
среднее значение, %	88,6467	87,9824	88,0522	88,2225
выборочная дисперсия	2,3155	2,1094	2,0388	2,2155
выборочное среднее квадратическое отклонение, %	1,5217	1,4524	1,4279	1,4884
диапазон изменения содержания твердого, %	85,0...91,9	85,0...92,0	84,0...91,3	84,0...92,0

В процессе обработки экспериментальных данных методами математической статистики были найдены уравнения корреляционной связи между переменными – содержанием твердого в песковом продукте и его массовым расходом. Известно [5], что при полной корреляции ( $r=\pm 1$ ) обе зависимости совпадают. При отсутствии корреляции ( $r=0$ ) зависимости (прямые) располагаются под прямым углом одна к другой. Для величин, собственные случайные отклонения которых подчинены нормальному закону распределения, отсутствие корреляции, т.е. равенство нулю коэффициента корреляции генеральной совокупности, означает одновременно и отсутствие какой-либо зависимости. Проверка гипотезы об отсутствии корреляции между рассматриваемыми величинами подтвердила случайное расхождение между выборочным и генеральным коэффициентами корреляции. Поэтому можно утверждать, что содержание твердого в песках двухспирального механического классификатора не зависит от величины массового расхода пескового продукта.

В то же время экспериментально установлены колебания содержания твердого относительно среднего значения в выборках. Эти колебания можно объяснить несколькими причинами, которые проявляются в каждом эксперименте. Прежде всего на результаты определения содержания твердого в пробах может сказаться неравномерность размещения влаги в разгружаемом песковом продукте и неидентичность отбора проб с учетом точек и временных фаз движущегося материала. Кроме того, на результаты определения содержания твердого в песках значительное влияние может оказать обработка отобранных проб – это неточность взвешивания кюветы с исходным материалом, неточность взвешивания кюветы с высушенным материалом, неточность определения веса сухой пробы из-за приставания частиц к металлической поверхности кюветы, влияние неудаленного приставшего к кювете материала на результаты последующего опыта. Как показывает анализ, в экспериментах влияния этих факторов исключить невозможно и, следовательно, необходимо признать рассеивание содержания твердого в пробах их следствием.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, возможно считать, что относительное содержание твердого в песковом продукте спиральных механических классификаторов есть величиной неизменной, характерной для определенного месторождения полезного ископаемого.

Предложена методика исследования технологических процессов позволяет определять эти характеристики пескового продукта и использовать их при автоматическом управлении данными процессами, исходя с новых, более прогрессивных подходов, чем те, которые реализовывались раньше.

### Список литературы

1. Руденко Н.Г. Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках / Н. Руденко, М. Шемаханов.- М.: Недра, 1967.- 372с.
2. Кендалл М. Дж. Теория распределений / М. Дж. Кендалл, А. Стьюарт: пер. с англ. В.В. Сазонова, А.Н. Ширяева; под ред. А.Н. Колмогорова.- М.: Наука, 1966.- 587 с.
3. Степнов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний / Степнов М.Н. - М.: Машиностроение, 1972.- 232 с.
4. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. Смирнов, И. Дунин-Барковский.- М.: Наука, 1969.- 511 с.
5. Езекиэл М. Методы анализа корреляций и регрессий (линейных и криволинейных) / М. Езекиэл, К. Фокс: пер. с англ. Л.С. Кучаева; под ред. Н.К. Дружинина.- М.: Статистика, 1966.- 557 с.