

АНАЛИЗ ИЗУЧЕНИЯ ФЕНОМЕНА ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ

В статье дан обзор исследований по процессу сегрегации. Приведены конкретные примеры аппаратов, на которых проявляется расслоение. Выявлена, прослежена и обоснована роль стратификации на процессы разделения в гравитационных методах обогащения.

In given article the review of researches on process segregation is resulted. Concrete examples of devices on which stratification is shown are resulted. The role of stratification on processes of division in gravitational methods of enrichment is revealed, tracked and proved.

Гравитационные методы обогащения полезных ископаемых являются наиболее древними по сравнению с другими методами обогащения. В настоящее время исследуются новые гравитационные способы обогащения, способствующие повышению эффективности их использования в промышленности. Это в свою очередь, способствует и развитию теории процесса, позволяющей наметить не только верные направления в создании новых машин, но и осуществить процесс гравитационного обогащения при наиболее полном извлечении ценных компонентов руды.

Во всех гравитационных аппаратах разделение частиц происходит во взвешенных разрыхленных слоях, т.е., в слоях, в которых твердые частицы находятся во взвешенном состоянии, обуславливаемом воздействием на них жидкости, газа или вибрирующих твердых стенок. Толщина взвешенных слоев колеблется в широких пределах – от нескольких метров (сгустители, гидравлические гравитационные классификаторы) до миллиметров (концентрационные столы, шлюзы).

Разделение частиц при гравитационных процессах можно классифицировать на два основных вида: гидравлическое (частицы разделены прослойкой воды) и сегрегационное (частицы соприкасаются друг с другом). При гидравлическом виде основную роль, кроме силы тяжести, играют гидродинамические силы и соударение частиц, при сегрегационном важна реакция частиц при

их соприкосновении. В некоторых процессах (гидравлическая классификация) основное значение имеет гидравлическое разделение, в других – сегрегация (обогащение на концентрационных столах, в суживающих желобах, винтовых шлюзах). В отсадке участвуют оба указанных вида разделения [4].

Процессы сегрегации зернистого материала при механическом воздействии до сих пор слабо изучены. Литературные источники недостаточны и относятся только к процессу грохочения, а роль явления сегрегации до сих пор замалчивается. Данное явление имеет много названий, таких как расслоение, стратификация, фракционирование. Ф.Дайером [10] впервые описаны некоторые особенности сегрегации в приложении к гравитационному разделению. Он установил, что железные и деревянные шарики разной крупности под воздействием вибраций и встряхиваний перераспределяются по высоте расположения в зависимости от их крупности и плотности. В нижних слоях концентрируются мелкие железные шарики с большой плотностью, в средних – мелкие деревянные (с малой плотностью) и крупные железные, в верхних – крупные деревянные. Такое распределение шариков резко отличается от картины распределения их при гидравлической классификации. Поэтому Дайер такой вид расслоения определил как обратный.

В монографии В.П.Лященко [5], изданной в 1940 г., рассматриваются результаты

исследований Ф.Дайера, но лишь на качественном уровне.

В.М.Бочковским [1] изучено несколько способов расслоения, в том числе смывное действие потока воды, текущей по наклонной плоскости. Обнаружено, что в процессе расслоения минеральных зерен большое значение имеет расклинивающее действие зерен вышележащими. Кроме того, экспериментально установлено увеличение скорости расслаивания при сегрегации с увеличением крупности и разности в плотностях разделяемых частиц, повышением интенсивности вибраций и уменьшением толщины слоя. Данные опыты носили общий характер: они показывали явление расслоения и раскрывали лишь некоторые закономерности. Автором сделана очередная попытка выявить причины стратификации, ее природу. В статье поставлены следующие вопросы: каков механизм перемещения зерен внутри слоя при расслоении, какова зависимость между этим механизмом и закономерностями расслаивания, какие конкретные особенности этого механизма обуславливают расположение зерен в каждой из разновидностей расслоения, которые на данный момент остаются нерешенными.

Кроме В.М.Бочковского были и другие исследователи, которые сталкивались в своих работах с процессом сегрегации, например В.Д.Иванов, С.А.Прокопьев [3] процесс расслоения представили как разделение минеральных зерен в стесненных условиях. Однако авторы выделили некоторые особенности стратификации: расслоение материала на деке стола происходит как по плотности, так и по крупности; расслоение материала на деке стола происходит в условиях стесненного падения так же, как на отсадочных машинах. Стесненность падения на деке стола больше, так как в отсадочных машинах обогащаемый материал получает большее разрыхление и большие восходящие потоки от действия поршня (или диафрагмы) и подрешетной воды.

В.Д.Иванов и С.А.Прокопьев [3] исследованию этого процесса посвящают отдельную главу, но при этом подчеркивают, что расслоение является очень сложным про-

цессом, над которым может работать не одно поколение исследователей. Авторы сделали попытку вывести коэффициент расслоения и дать общее пояснение. Прodelав очень большую работу по расчетам различных скоростей, пришли к выводу, что необходимо изучить особенности падения тяжелых частиц в межзерновых каналах, теорию о которых они предварительно отвергли. Одновременно с этим В.Д.Ивановым предложена модель расслоения, аналогичная принципу доски Гальтона. После серии опытов сделаны выводы об аналогичности процесса сегрегации с процессом расслоения на отсадочной машине. В обоих случаях за причину ускорения падения или разделения по плотности принималась вибрация решета. Также известно, что расслоение в отсадочной машине не имеет общепринятой теории.

Б.В.Кизевальтер расслоение частиц, движущихся по наклонной поверхности, рассматривает с учетом воздействия на них турбулентных вихрей, взаимного воздействия частиц, обусловленного градиентом скорости по глубине. Частица, находящаяся в некотором слое, получает удары от частиц, расположенных выше; возникает их вращение и эффект Магнуса. Б.В.Кизевальтер, Р.О.Берт, так же, как и Багнольд, считают, что подъемная сила от воздействия частиц между собой является основной из причин разрыхления, а следовательно, и расслоения частиц. Б.В.Кизевальтер, используя исследования И.Г.Гринмана, Г.И.Бляха, Нессе, объяснил, что концентрация по высоте для мелких частиц изменяется менее резко, чем для крупных, а наиболее мелкие частицы по глубине потока наклонной поверхности распределены практически равномерно.

И.И.Блехманом и В.Я.Хайнманом показано [1], что при взвешивании в зернистых смесях при наложении круговых горизонтальных колебаний проявляются вязкостные свойства, крупные частицы ведут себя в среде мелких частиц, как в псевдожидкости. При этом частицы меньшей плотности, чем среда, всплывают, а частицы большей плотности тонут. Замечательный результат получен И.И.Блехманом и В.Я.Хайнманом при

рассмотрении случая наложения вертикальных гармонических колебаний на зернистую смесь с максимальными ускорениями, превышающими g . Впервые показан эффект всплывания крупной частицы высокой плотности в среде легких мелких частиц при одновременном всплывании крупных частиц малой плотности. Это происходит при достаточно интенсивном колебании с максимальными ускорениями, превышающими g , когда сопротивление движению крупной тяжелой частицы вверх меньше сопротивления движения вниз. Этот эффект заслуживает особого внимания, так как может быть важен при анализе работы вибрационных центробежных концентраторов.

Отдельного внимания заслуживает работа А.Д.Учителя [8], в которой исследован процесс сегрегации применительно для процесса грохочения. Замечено, чтобы определить скорость сегрегации, необходимо разбить материал на подслои, каждый из которых характеризуется своей скоростью и концентрацией. Автор попытался провести опыты, но из условий проведения видны ошибки. Вывод скорости сегрегации тоже неточен, так как не учитывает многих факторов и не проверен практически. В других своих работах А.Д.Учитель продолжает упоминать явление сегрегации, перечисляя ее основные признаки. Автор вводит термин интенсивность сегрегации и согласно этому расчет скорости расслоения, но не исследует причины, не проводит простых и понятных экспериментов, ограничивается 2-3 факторами. Для расчета средней скорости сегрегации А.Д.Учитель приводит формулу, в которой отсутствуют такие важные величины, как амплитуда, высота слоя, слой частиц и др. Данных, подтверждающих достоверность и адекватность формулы средней скорости, не существует.

Интересные качественные исследования были сделаны Р.Л.Брауном [9]. Согласно работе [9], сегрегация – это отрицательное явление. В работе речь идет о сегрегации, которая имеет место в бункерах. Автор так же, как и другие исследователи, подчеркивает огромное практическое значение сегрегации и необходимость тщательного

исследования ее теоретических основ. Р.Л.Браун разделяет расслоение на два рода: I и II, каждый из которых еще на две подгруппы по плотности и крупности. I род сегрегации (внутри слоя) – это явление, происходящее в гравитационных аппаратах (концентрационный стол и др.). II род сегрегации (на поверхности) – это процесс расслоения в бункерах при транспортировке и перегрузке материала. В любом случае автор указывает на то, что силы, вызывающие явление расслоения с этой точки зрения, связаны с локальными условиями упаковки. Согласно Брауну, колебания распространяются в направлениях, имеющих место в слое крупных частиц и увеличиваются в слоях, составленных из какого-либо одного размера. Согласно этим данным сегрегация зависит от таких факторов, как разрыхленность и крупность. Р.Л.Браун провел простые опыты с крупными кусками различной плотности и обнаружил, что сегрегация по крупности происходит чаще, чем по плотности. Р.Л.Браун указывает на основные и второстепенные свойства, влияющие на сегрегацию дробленного угля:

- гранулометрический состав;
- удельный вес;
- форма частиц и ее распределение;
- коэффициент трения;
- эластичность частиц и др.

Е.А.Непомнящий в статье [6] о теории процесса отсадки пишет, что в практике обогащения руд используется свойство разрыхленной смеси минеральных зерен расслаиваться по крупности, плотности и гидродинамическим свойствам. Так, мелкие, но тяжелые зерна осаждаются на поверхности рабочего органа (решета отсадочной машины, деки концентрационного стола и т.д.), а «динамические легкие» зерна всплывают на поверхности постели. Очевидно, что для управления процессами обогащения, основанными на расслаивании, нужно установить закономерности этого процесса и связать характер распределения зерен с параметрами механического режима обогатительного оборудования. Автором предложен сложный метод расчета распределения концентрации минеральных зерен, при котором

используется расслаивание смеси по крупности и плотности. Получено уравнение кинетики расслоения смеси, в котором распределение концентрации зерен по толщине слоя зависит от двух безразмерных параметров, связанных с двумя коэффициентами, но определяемых экспериментально.

Процесс сегрегации имеет место и в центробежных концентраторах: с механическим разрыхлением постели [2]. В сепараторе наблюдается сегрегация частиц, т.е. просеивание тонких частиц через промежутки между более крупными зёрнами. Содержание тонких и мелких частиц в концентраторе несколько выше, чем в исходном питании. Создание аппаратов сегрегационного типа большой единичной производительности позволит составить реальную конкуренцию уже завоевавшим популярность концентраторам фирм «Knelson» и «Falcon».

Исследуя формирование концентрата в центробежном поле А.А.Романченко и К.В.Федотов [2], обратили внимание на то, что сегрегация тяжелых частиц по плотности и крупности происходит при меньшем количестве воды, сегрегация по массе – при большем количестве воды. Авторы определили, что в основе центробежного обогащения лежит интенсификация процессов взаимодействия твердых частиц друг с другом в сплоченном и разрыхленном состоянии, а увеличение разницы между гидравлической крупностью частиц разного удельного веса в центробежном поле имеет второстепенную роль.

В результате проведенного анализа литературных источников можно сделать следующие выводы:

1. Данное явление как процесс наблюдается почти во всех гравитационных аппаратах, таких как концентрационный стол,

винтовой сепаратор, отсадочная машина, центробежный концентратор и др.

2. Явление сегрегации в настоящее время описано лишь качественно. Отсутствуют расчеты скорости сегрегации, влияние основных факторов на процесс расслоения и т.д. Ни один из различных подходов не дает исчерпывающих данных о развитии процесса сегрегации.

3. Почти все литературные источники указывают на тот факт, что исследование процесса расслоения позволит не только улучшить технологические показатели, но и создать новые высокопроизводительные и высокоэффективные сепараторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блехман И.И. К теории разделения сыпучих смесей под воздействием колебаний / И.И.Блехман, В.Я.Хайнман // Инженерный журнал «Механика твердого тела». 1968. № 6, С.5-13.
2. Богданович А.В. Сравнительные испытания центробежных концентраторов различных типов / А.В.Богданович, С.В.Петров // Обогащение руд. 2001. № 3. С.38-41.
3. Иванов В.Д. Винтовые аппараты для обогащения руд и песков в России / В.Д.Иванов, С.А.Прокопьев. М.: Дакси, 2000. 240 с.
4. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. М.: Недра, 1979. 296 с.
5. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. М., Л.: Гортоплит, 1940. С.242.
6. Непомнящий Е.А. Распределение минеральных частиц в разрыхленной смеси // Обогащение руд. 1966. № 2. С.28-32.
7. Розембаум Р.Б. Стесненные падения шара в цилиндрической трубке / Р.Б.Розембаум, О.М.Тодес. ДАН СССР. Т.115. № 3. 1957. С.504-507.
8. Учитель А.Д. К анализу процесса сегрегации сыпучих материалов на вибрационных грохотах // Исследование процессов, машин и аппаратов разделения материалов по крупности / Труды института «Механобр». Л., 1988. С.71-80.
9. Braun R.L. The fundamental principles of segregation // J. Inst. Fuel. 1939. Vol.13. P.15-19.
10. Daier F. Reverse classification by grobweed setting in ore-dressing // Eng. a. Mining J. 1929. Vol.127. № 26.