

Д. т. н. В. Я. Потапов, д. т. н. С. Я. Давыдов, к. т. н. В. В. Потапов

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,  
г. Екатеринбург, Россия

УДК 622.742

## ВЫДЕЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ПО ТРЕНИЮ И УПРУГОСТИ

Рассмотрены технологические схемы выделения твердых включений из глины на основе использования фрикционных и упругих характеристик разделяемых фаз. Представлены результаты исследований и оборудование для технологической компоновки схем.

**Ключевые слова:** технология, схемы, сепараторы, фрикционные и упругие характеристики фаз.

Глинистое сырье не всегда достаточно однородно по составу из-за содержания в нем твердых включений, поэтому целесообразно выделение из глины этих включений, разрушение их и объединение основной массы глины с измельченными твердыми включениями. Прямая дезинтеграция глин с разрушением твердых включений не представляется перспективной, поскольку глинистая часть материала создает демпфирующий эффект и делает совместную дезинтеграцию неэффективной [1–12].

Используемые в настоящее время в технологии подготовки глинистого сырья к кирпичному производству грохоты, колки, валки недостаточно эффективно удаляют твердые включения (кварц, диабаз, базальт) из массива. В результате воздействия аппаратов технологической схемы на твердые включения последние не только не удаляются, но и не разрушаются до технологической крупности. Вследствие их перемешивания с глиной ухудшается качество подготавливаемой сырьевой массы для производства кирпича.

Установлено, что после подготовки глины для формования кирпича в ней содержатся твердые включения класса  $-20 + 2$  мм, которые после обжига кирпича ухудшают его структуру, а также прочностные свойства, что приводит к

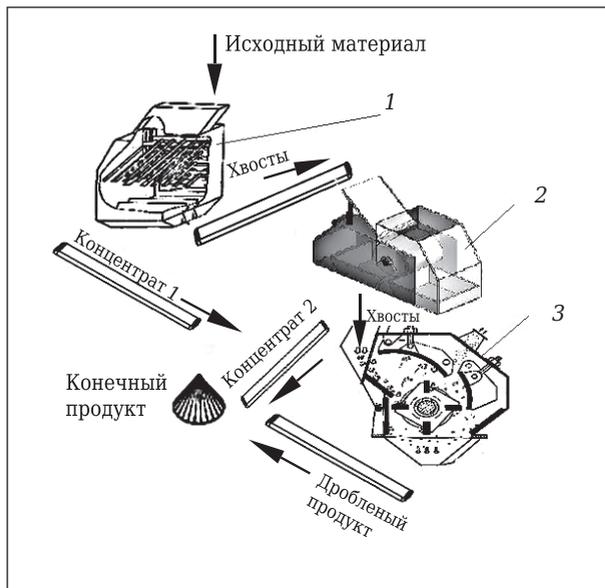
10–15 %-ному браку в партии продукции. По технологии подготовки глины предусматривается ее «отошение» за счет введения твердых тонкоизмельченных добавок. В качестве отошающих компонентов используют шлаки и присутствующие в глинистом сырье твердые мелкие включения в виде гравия класса  $-1 + 0$  мм.

Для повышения эффективности извлечения твердых включений из глины была предложена технология, в которой используется различие в эффектах взаимодействия кусков разделяемых компонентов с рабочей поверхностью аппарата. Признак разделения оценивали по комплексу фрикционных характеристик глинистого сырья, рассматривали коэффициенты трения, упругости, формы, а также материал поверхности разделения в аппарате [1, 3, 4, 7–12]. Оценку упругих и фрикционных характеристик сырья проводили по специально разработанным методикам. В таблице представлены результаты изучения коэффициентов трения (статического и кинематического), восстановления и трения при ударе для включений, входящих в глинистое сырье месторождений Свердловской области.

Полученные о фрикционных и упругих характеристиках глинистого сырья данные свидетельствуют о высокой контрастности исследуемого

### Показатели физико-механических свойств фаз глинистого сырья на различных поверхностях разделения (сталь/резина)

Продукт, разделяемый на поверхностях сталь/резина	Коэффициент			
	статического трения	кинематического трения	восстановления	трения при ударе
Глина	0,74/1,1	0,62/0,88	0,12/0,09	0,3/0,48
Кварц	0,46/0,59	0,37/0,47	0,76/0,33	0,08/0,12
Песчаники	0,46/0,59	0,3/0,47	0,73/0,33	0,12/0,19
Известняки	0,55/0,74	0,37/0,59	0,7/0,44	0,13/0,14
Диабазы	0,46/0,60	0,31/0,60	0,76/0,35	0,07/0,18



**Рис. 1.** Двухоперационная схема выделения твердых включений из глины: 1 — сепаратор для разделения сыпучих материалов по трению и упругости (СПРУТ) неподвижной разделительной поверхностью; 2 — барабанно-полочный фрикционный сепаратор (БПФС) с подвижной разделительной поверхностью; 3 — роторная дробилка

признака и возможности его использования для разделения продуктов, входящих в состав сырья. Результаты исследований были использованы при разработке технологии подготовки глиноземистого сырья для кирпичного производства Асбестовского кирпичного завода (АКЗ).

На первом этапе работы изучали гранулометрический состав глинистого сырья АЗК, чтобы определить крупность и количество твердых включений в различных классах материала. Исследования показали, что в исходном сырье содержится не менее 30–35 % твердых включений. Основная доля твердых включений приходится на класс крупности  $-100 + 6$  мм, что составляет 69 % от их общего содержания в исходном сырье.

В качестве возможных методов для предварительного отделения твердых включений от глины исследованы методы разделения с использованием различий в трении и упругости разделяемых фаз. Перед разработкой конструкции аппаратов, выбором их параметров, а также схем подготовки глинистого сырья к производству кирпича выполнены теоретические и экспериментальные исследования процесса разделения на полупромышленных моделях сепараторов (рис. 1) [5, 6].

Методика эксперимента предполагает выполнение ситового анализа продуктов разделения с оценкой количества выделенных твердых и глинистых включений в каждый класс крупности. Выделение твердых включений осуществляли по двум схемам. В первой схеме использо-

вали установку из двух сепараторов (см. рис. 1). Хвосты (твердые включения) первой операции разделения (СПРУТ) 1 направляются на вторую операцию разделения (БПФС) 2 с целью доизвлечения глины из этого продукта. Хвосты СПРУТ и БПФС (твердые включения) в дальнейшем подвергали дроблению на роторной дробилке РД 3, мелкодробленые продукты использовали в качестве отощающей добавки к глине.

В результате проведенных опытов было установлено, что выделенные продукты: концентрат (глина) и хвосты (твердые включения) взаимно «засорены». Такая подготовка сырья отразилась на качестве дробимости хвостов и способствовала низкой эффективности разрушения твердых включений, а следовательно, и ухудшению качества массы, подготовленной для производства кирпича. С использованием в схеме одного сепаратора (СПРУТ или БПФС) и роторной дробилки РД (рис. 2) разделение осуществляется в одну операцию с последующим дроблением хвостов сепарации (твердых включений). Такая схема позволила значительно улучшить качество подготовки сырья к последующему формированию глинистой массы.

При анализе результатов проведенной работы установлено, что разделение в одну операцию позволяет получить более чистый от твердых включений концентрат, чем объединенный от двух операций. Последующее дробление твердых включений позволяет получить продукт значительно более мелкий, чем исходный, и с существенно меньшей долей твердых включений. Дополнительная операция разделения перед дезинтеграцией не приводит к заметно-му повышению качества дробленого продукта.

При однооперационном выделении концентрата содержание крупных классов в виде твердых включений ( $+12,7$ ,  $+6$  мм) обеспечивает схема с использованием СПРУТ, однако в целом при использовании сепаратора БПФС выделенный концентрат несколько мельче, а полученные при этом дробленые хвосты имеют существенно меньшую крупность, чем при применении сепаратора СПРУТ. Последнее, очевидно, объясняется большим выходом хвостов в сепараторе СПРУТ и, следовательно, большей долей глинистой фазы в хвостах, что несколько снижает эффективность последующего дробления. В двухоперационной схеме выделения твердых включений из глины в первой операции целесообразно использовать БПФС, а во второй — СПРУТ, применение которого позволяет получить более качественный концентрат второй операции разделения.

Использование БПФС в схемах выделения твердых включений из глинистого сырья позволило выделить концентрат в виде глины в количестве 43,2 % с содержанием в ней твердых включений 8 % и второй продукт — хвосты сепарации с содержанием твердых включений

56,8 % и глины 12 %. Использование в схеме для разделения сырья СПРУТ позволило выделить концентрат в виде глины в количестве 38,8 % с засорением продукта твердыми включениями (6 %) и и второй продукт — хвосты с содержанием твердых включений 61,2 % и глины 11 %.

В целом следует отдать предпочтение схеме, представленной на рис. 2, как более простой в реализации и позволяющей получить сопоставимые по качеству продукты с аналогами при использовании схемы, изображенной на рис. 1. В качестве аппарата разделения в схеме, показанной на рис. 2, с близкой технологической эффективностью могут быть использованы сепараторы либо СПРУТ, либо БПФС. Выбор типа сепаратора зависит от специфики условий эксплуатации. Обе схемы были рекомендованы для применения в промышленности и внедрены на Асбестовском, Уктусском и Ревдинском кирпичных заводах.

Предлагаемые технические решения на базе испытанных аппаратов могут быть использованы в схемах подготовки сырья кирпичного производства других предприятий для обеспечения качества производимой продукции. В зависимости от специфики глинистого сырья и предприятий — производителей кирпича в схемы выделения твердых включений могут быть внесены изменения.

**Библиографический список**

1. **Потапов, В. Я.** Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В. Я. Потапов, Е. Ф. Цыпин, С. А. Ляцнев [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. — 1998. — № 5/6. — С. 103–108.
2. **Ляцнев, С. А.** Математическое моделированное разделение частиц в барабанно-полочном фрикционном сепараторе / С. А. Ляцнев, Е. Ф. Цыпин, В. Я. Потапов [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. — 1996. — № 7. — С. 147–150.
3. **Потапов, В. Я.** Изучение фрикционных характеристик материалов для обоснования конструкций разделительных аппаратов / В. Я. Потапов, В. В. Потапов, П. С. Куликов // Материалы научного симпозиума (Неделя горняка – 2006 г., Москва) : Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 6. — С. 188–190.
4. **Потапов, В. Я.** Закономерности движения куска горной породы по наклонной плоскости фрикционного сепаратора / В. Я. Потапов, В. В. Потапов // Изв. вузов. Горный журнал. — 2011. — № 5. — С. 94–100.
5. **Пат. 111780 РФ.** Сепаратор для разделения материалов по трению и упругости / В. Я. Потапов, А. И. Афанасьев, С. А. Ляцнев, Е. Ф. Цыпин, В. В. Потапов, В. В. Иванов ; заявл. 24.06.10 ; опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36.
6. **Потапов, В. Я.** Разработка математической модели движения частиц в сепараторе по трению и упругости / В. Я. Потапов // Изв. вузов. Горный журнал. — 2011. — № 3. — С. 60–66.
7. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследо-



**Рис. 2.** Однооперационная схема выделения твердых включений из глины: 1 — сепаратор; 2 — роторная дробилка

вание, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГГУ – УПИ, 2007. — 317 с.

8. **Давыдов, С. Я.** Вращающиеся печи предприятий строительных материалов : учебное пособие / С. Я. Давыдов, В. А. Пьячев, И. Д. Кащеев [и др.]. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. — 352 с.

9. **Давыдов, С. Я.** Использование эффективного комплекса оборудования для перемещения насыпных грузов / С. Я. Давыдов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 8. — С. 8–10.

10. **Давыдов, С. Я.** Устройства, исключаящие налипание материала на поверхности грузонесущих емкостей / С. Я. Давыдов, И. Д. Кащеев, С. Н. Сычев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2010. — № 4. — С. 86–88.

**Davydov, S. Ya.** Devices that prevent adhesion of material to the surface of load-bearing capacitors / S. Ya. Davydov, I. D. Kashcheev, S. N. Sychev, A. R. Khurmatullin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010. — Vol. 51, № 2. — P. 76–78.

11. **Давыдов, С. Я.** Вертикальные трубчатые скребковые контейнеры / С. Я. Давыдов, И. Д. Кащеев, С. Н. Сычев // Новые огнеупоры. — 2010. — № 11. — С. 34–37.

**Davydov, S. Ya.** Vertical tubular scraper conveyor / S. Ya. Davydov, I. D. Kashcheev, S. N. Sychev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 51, № 6. — P. 416–418.

12. **Давыдов, С. Я.** Транспортное и складское оборудование с пневмозагрузкой / С. Я. Давыдов, Ф. Л. Капустин, И. Д. Кащеев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2010. — № 6. — С. 21–27.

**Davydov, S. Ya.** Transport and storage equipment with pneumatic loading / S. Ya. Davydov, F. L. Kapustin, I. D. Kashcheev [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010. — Vol. 51, № 3. — P. 161–166. ■

Получено 07.03.13  
© В. Я. Потапов, С. Я. Давыдов,  
В. В. Потапов, 2013 г.