

УДК 621.926

## ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВЛАЖНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Л.А. Сиваченко, В.В. Кутузов, А.М. Ровский, И.А. Реутский*  
*Белорусско-Российский университет, г. Могилев*

*В статье изложены проблемы комплексной переработки влажных материалов: мела, мергеля, глины, трепела и других. Показаны актуальность и необходимость создания высокоэффективного технологического оборудования. Предложена концепция адаптивных методов переработки сырья и описаны новые конструкции агрегатов для работы с влажными сырьевыми материалами и возможности использования в них энергии ветра.*

### Введение

Переработка материалов карьерной влажности до тонкодисперсного состояния или получения композиций с высокой однородностью распределения компонентов сопряжена со значительными трудностями, обусловленными главным образом адгезией влажных материалов к рабочим поверхностям технологических машин, а также их пористо-капиллярной структурой, существенно сдерживающей удаление влаги. Это требует проведения их механотермической обработки, т.е. измельчения с одновременной сушкой, что сопряжено с использованием сложного и энергоёмкого оборудования. [1, 2]

К числу таких материалов следует отнести сырьё для производства цемента и извести (мел, мергель), карьерную глину для керамических изделий, доломиты, трепел, торф, шлаки, уголь, пилматериалы, твердые бытовые отходы и ряд других. По нашей оценке в Беларуси общий объем переработки этих материалов составляет примерно 25–27 млн т в год. [3, 4] Основной их потребитель – промышленность строительных материалов.

Для каждого из перечисленных материалов существует критический диапазон влажности, ограничивающий эффективность их переработки. В составе рассматриваемой проблемы можно выделить ряд важных условий, без решения которых невозможно обеспечить прорыв в технологиях переработки влажных сырьевых материалов:

- переработка больших объемов материалов единичными агрегатами;
- наличие в составе сырьевой массы крупных включений размерами до 500 мм и более, в т. ч. прочных и недробимых;
- высокая налипающая способность материала на рабочие элементы технологического оборудования, а также слипаемость кусков между собой;
- необходимость обеспечения высокой степени измельчения с одновременной сушкой или, по крайней мере, удаления влаги с поверхностных слоев частиц;
- создание конструкции повышенной надежности и удобства в эксплуатации и ремонте;
- решение задач энергосбережения, технологической эффективности и функциональной универсальности.

### Состояние вопроса в области переработки влажных сырьевых материалов

Технологическая переработка влажного сырья сопряжена с фундаментальными работами по следующим направлениям: измельчением дисперсной среды, сушкой, гомогенизацией, обогащением и рядом других, а также аппаратурным оформлением всех этих процессов, включая параметрический контроль и управление агрегатами. Актуальной задачей является проведение перечисленных процессов в одном агрегате и с минимальными издержками.

Практически для всех технологий базовой операцией является измельчение исходной сырьевой массы, что является определяющим условием проведения всех других процессов. Например, для эффективной сушки сырья требуется как можно тонко измельчить и обеспечить его максимальный контакт по всей поверхности с тепловым агрегатом. Комплексная переработка влажных дисперсных продуктов характеризуется огромным многообразием используемых для этих целей технических средств и технологических приемов, но обязательным переделом является дезинтеграторная стадия подготовки сырья к его последующему использованию.

Значительные трудности в измельчении влажных материалов вызывают необходимость либо предварительной сушки, либо, наоборот, требуют повышения влажности для придания обрабатываемой массе подвижности или текучести. Такое положение особенно характерно для цементной и керамической промышленности. [5, 6].

Известно довольно много способов не машинного понижения влажности сырьевого материала, например, штабелирования в карьерах, фильтрации, естественной сушки и т.д., но в массовых и крупнотоннажных технологиях производственники вынуждены на влагу идти в «лоб», что крайне неэффективно и затратно.

В настоящее время для дезинтеграторной, т.е. связанной с измельчением, переработки влажных сред применяется большое количество различных по конструкции к принципу действия агрегатов. Это прежде всего глинорыхлители, дырчатые вальцы, бегуны, молотковые и роторные дробилки, глинорезки, стругачи, аэрофолы, шахтные мельницы, обширный класс, так называемых, среднеходных мельниц и многие другие измельчители. [7, 8].

С целью конкретизации рассматриваемой проблемы, которая во многом определяет функционирование ряда крупнейших предприятий республики, приведем несколько примеров использования технологических агрегатов для переработки влажных материала. Так, на ОАО «Белорусский цементный завод» (г. Костюковичи, Могилевская обл.) эксплуатируются два аэрофола, которые служат для измельчения и сушки меловой породы. Это вращающиеся барабаны с внутренним диаметром 9 м и массой 500 т с приводом мощностью 3200 кВт каждый. Они работают в тандеме с молотковыми дробилками, имеющими роторы диаметром 1750 и длиной 3000 мм и приводами мощностью по 800 кВт, причем сырьё одновре-

менно с измельчением сушится и классифицируется по крупности в циклонных аппаратах с вентиляторными установками мощностью по 1450 кВт. Подобные примеры можно продолжать многократно.

Здесь стоит задуматься над вопросом, а почему мы вынуждены делать такие огромные и, по сути, уникальные агрегаты, потребляющие огромное количество топлива и электроэнергии и требующие колоссальных эксплуатационных затрат? Решение этой проблемы сводится к целенаправленной упорядоченной подготовке исходных сырьевых материалов по следующим направлениям:

- созданию и установке в голове процесса простых, надежных и эффективных агрегатов, способных производить первичную обработку;

- придании исходному материалу нужных технологических характеристик, необходимых для оптимизации последующих переделов;

- предварительного обогащения и упорядочения структуры материала, в т. ч. за счёт удаления посторонних или недробимых включений;

- использования в качестве движущей силы процесса нетрадиционных источников, например, энергии ветра.

### **Концепция создания эффективных агрегатов для работы с влажными материалами**

При работе с влажными налипающими материалами в первую очередь требуется устранить наложения и забивания рабочих органов исходной сырьевой массой. Это можно осуществить различными способами. По нашему мнению, одним из них является выполнение рабочей камеры и измельчающих органов совмещенными между собой, например, в виде подвижного цепного полотна с зубчатыми элементами.

Такое техническое решение исключает поломку рабочего оборудования и налипание материала на элементы конструкции, а также позволяет удалять из рабочей зоны крупные недробимые включения. Кроме того, рыхлительно-измельчительное устройство подобного типа хорошо вписывается в агрегат с одновременной продувкой потоком атмосферного воздуха, концентрируемым в рабочей зоне посредством конфузора.

Идеология выполняемой работы при этом сводится к получению однородного, по зерновому составу продукта с поверхностных слоёв которого удаляется основная часть несвязанной (свободной) воды, а материал приобретает сыпучесть и его легко перерабатывать известными способами.

Для тонкого измельчения и получения однородных композиций перспективным является использование молотковых измельчителей с наклонным корпусом, рабочее оборудование которых выполнено в виде секций с разделительными зонами и камерами для «успокоения» потоков материала, что обеспечивает такие условия разрушения материала, когда его частицы и ударные элементы соударяются между собой с максимальными скоростями. Дополнительно такие агрегаты позволяют совместно проводить процессы измельчения, сушки, смешивания, механоактивации и классификации.

В основу разрабатываемых конструкций положен принцип совмещения в одном агрегате нескольких технологических операций, реализации адаптивных методов воздействия на обрабатываемые материалы и максимальной унификации узлов и деталей нового оборудования.

#### Новое оборудования для переработки влажных сырьевых материалов

Основываясь на фундаментальных закономерностях проведения технологических процессов ряда стадий переработки влажных сырьевых материалов [1, 5, 7], промышленной эксплуатации существующего оборудования и разработанной концепции нами предлагаются новые технические решения агрегатов для работы с влажными дисперсными продуктами.

**Рыхлитель цепной.** Общий вид цепного рыхлителя приведен на рис. 1. Рыхлитель состоит из приемного бункера 1, цепного полотна 2, собранного из отрезков цепей, соединённых между собой стяжками и оснащенных зубьями. Цепное полотно изогнуто по дуге, одним концом связано с приводом перемещения 3, а другим неподвижно закреплено на раме 4.

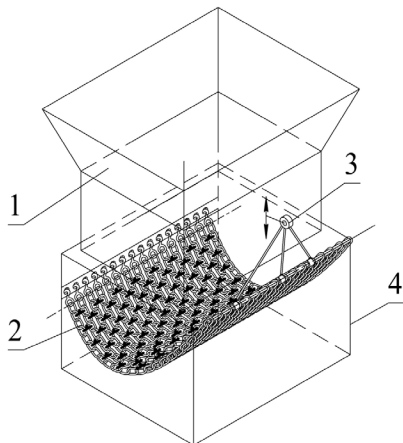


Рис. 1. Общий вид цепного рыхлителя

Принцип работы цепного рыхлителя заключается в том, что цепное полотно 2 приводится в колебательное движение приводом 3, а загруженный на него крупнокусковый материал интенсивно разрушается зубьями и звеньями цепей и просыпается в виде фракции определённого размера, готовой для последующего применения. Недробимые включения остаются на цепном полотне с которого удаляются, например, за счёт его продольного уклона (на рис. 1 не показано).

Варианты выполнения элементов цепного полотна приведены на рис. 2.

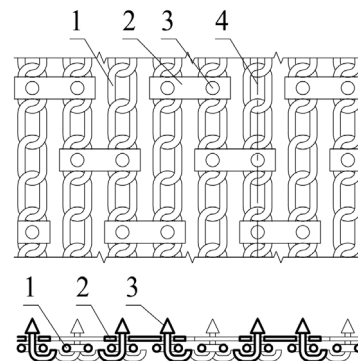


Рис. 2. Фрагменты выполнения рабочих элементов цепного полотна:

1 – звено цепи, 2 – соединительная планка, 3 – зуб, 4 – отрезок цепи

Характер осуществления процесса рыхления иллюстрируется рис. 3, на котором показаны циклы рыхления, определяемые положением цепного полотна, которое задаётся приводным механизмом. Кроме эксцентрикового привода могут быть и любые другие – например на основе вибрационных механизмов.

**Комплекс для измельчения и холодной сушки влажных материалов.** Общий вид комплекса представлен на рис. 4. Конструкция включает в себя конфузор 1, приемный бункер 2, днище которого выполнено в виде цепного полотна 3, один из бортов которого связан с приводом 4. Под бункером установлены роторы 5, 6 с ударными элементами, которые вращаются навстречу потоку воздуха. Для сбора измельченного и подсушенного продукта служит осадительная камера 7. Сушка, точнее, срыв капелек влаги потоком воздуха, производится на всем пути движения материалов в рабочих зонах.

В соответствии с приведенной схемой предлагаемый способ сушки осуществляется следующим образом. Цепное полотно 3 приводится в движение от индивидуального привода 4, в

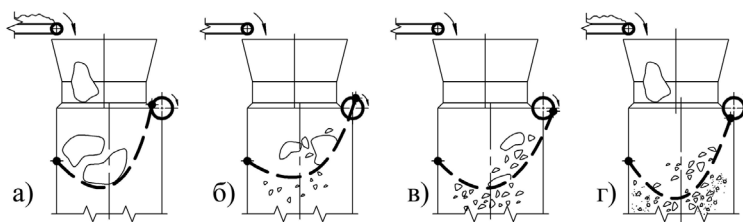


Рис. 3. Цикл процесса рыхления:

а – исходное положение цепного полотна; б – верхнее положение; в – промежуточное положение; г – нижнее положение

приемный бункер 2 загружается, например, с помощью автосамосвалов или ленты конвейера, крупнокусковой сырьевой влажный материал 1 и попадая на цепное полотно 3, интенсивно умельчается. Материал просыпается между звеньями цепного полотна 3 и равномерно распределяется по объему рабочей камеры 4, продуваясь высокоскоростным воздушным потоком, создаваемый конфузуром 8 в зоны ударного измельчения молотками роторов 5. Далее поток воздуха выбрасывает измельченный и подсушенный продукт 6 в осадительную камеру 7, где его частицы под действием силы тяжести ссыпаются на основание, с которого они периодически отбираются погрузчиками или другими транспортными средствами, а отработанный воздух отводится в атмосферу.

В качестве подтверждения реальности сушки влажных сырьевых смесей можно привести известный эффект срыва влаги с угольных частиц газовым потоком [10]. Суть его сводится к тому, что потоком газа механически происходит срыв влаги с поверхности угольных частиц с интенсивной диспергацией «сорванной» влаги и с частичным удалением ее из сушильного аппарата в виде жидкой фазы (тумана), т.е. без перевода ее из жидкой фазы в парообразную.

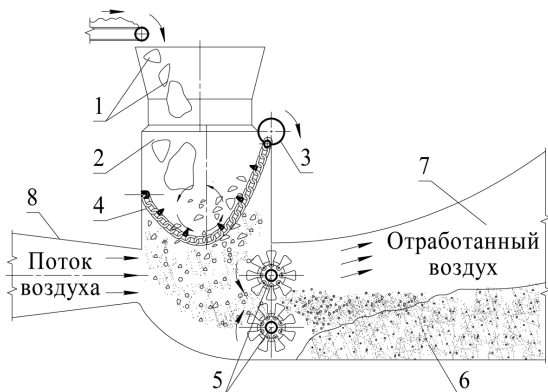


Рис. 4. Технологический комплекс для рыхления и холодной сушки влажного сырья

При этом эффекте в несколько раз увеличивается поверхность раздела фаз и тем самым резко интенсифицируется сушка. Удаление значительной части свободной влаги, содержащейся в материале, без затрат энергии на ее фазовое превращение дает значительную экономию тепловой энергии. Технически это обеспечивается продувкой слоя частиц холодным воздухом со скоростью 30–160 м/с и позволяет снижать влажность по абсолютному показателю на 5–25 %. Расход воздуха при этом составляет порядка 10 м<sup>3</sup>/ч на 1 кг.

Очень важно иметь в виду то [10], что при малой скорости потока воздуха продолжительность срыва влаги не превышает 0,1 с, а при скорости 160 м/с это происходит за тысячные доли секунды. Вне всяких сомнений, эти данные могут быть использованы для обоснования методов исследования сушки влажного сырья воздушным потоком с одновременным измельчением.

Учитывая свойства капиллярно-пористых структур, к которым относятся мел, мергель, глина, трепел и другие, характеризующиеся тем, что движение жидкости в капиллярах зависит от их диаметра, и сила сопротивления этому движению тем больше, чем меньше диаметр капилляров [4], выскажем предположение, что активизировать процесс движения такой жидкости к поверхности твердых частиц можно путем интенсивных механических воздействий, приводящих к их разрушению и образованию новой поверхности. Этот механизм движения жидкости в капиллярах можно назвать эффектом ударного вывода жидкости из капилляров и удаления воздушным потоком.

**Молотковый измельчитель с наклонным корпусом.** Конструкция однороторного молоткового измельчителя представлена на рис. 5. Измельчитель включает в себя цилиндрическую рабочую камеру 1, установленную на раме 2, внутри которой установлен ротор 3. Для загрузки и выгрузки материала камера снабжена загрузочным люком 4 и выгрузочным люком 5. Ротор 3 состоит из секций 7 с разделительными зонами и камерами для «успокоения» потоков материала.



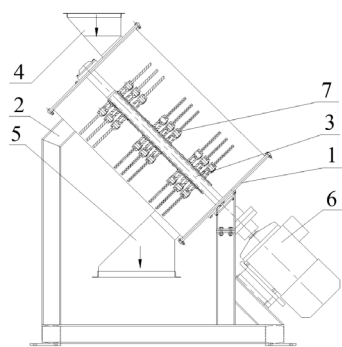


Рис. 5. Молотковый измельчитель с наклонным корпусом

Измельчение материала производится высокоскоростными ударами бил рабочих секций 7. Исходный материал загружается через люк 4 и, проходя под действием сил гравитации через рабочие зоны секций, интенсивно измельчается. Успокоительные зоны служат для придания частицам материала нужного характера движения и улучшают процесс измельчения. Выгрузка измельченного продукта производится через люк 5.

Такие агрегаты могут иметь различные конструктивные исполнения, но главным в них является создание управляемого движения измельчаемого материала, что обеспечивается расширительными зонами и позволяет повысить интенсивность обработки, снизить энергозатраты и износ рабочих элементов. Эти агрегаты опробованы в промышленных условиях, и достаточно широко применяются в крупнотоннажных производствах для переработки сырья материалов повышенной влажности: торфа, известняка, трепела, меловых пород, угля, глины, горнорудного сырья и других.

#### Список использованных источников

1. Процессы в производстве строительных материалов и изделий / В.С. Богданов [и др.]. – Белгород: Везелица, 2007. – 512 с.
2. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.] – Минск: Изд. Центр БГУ, 2008. – 375 с.
3. Энерготехнологические проблемы дезинтегративных технологий в промышленности строительных материалов и пути их решения. / Л.А. Сиваченко [и др.] // Энергоэффективность. – №14, №12. – С. 24–27.
4. Сиваченко, Л.А. Современное технологическое машиностроение: Резервы развития / Л.А. Сиваченко // Инженер-механик. – 2011. – № 1. – С. 11–21.
5. Нохратян, К.А. Сушка и обжиг в промышленности строительной керамики / К.А. Нохратян. – М.: Госстройиздат, 1962. – 603 с.
6. Новое технологическое оборудование для переработки дисперсных сред – основы модернизации базовых отраслей промышленности / Л.А. Сиваченко [и др.] // Труды междунар. форума. Инженерное образование и наука в XXI веке. Проблемы и перспективы. Том II. Алматы, КазНТУ, 2014. – С. 604–613.
7. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – М.: Машиностроение. 1981 – 324 с.
8. Дуда, В. Цемент / В. Дуда. Пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1981 – 464 с.
9. Сиваченко, Л.А. Использование энергии ветра в технологиях производства строительных материалов / Л.А. Сиваченко, Ю.К. Добровольский // Энергоэффективность, Минск. – 2014. – № 8. – С. 29–31.
10. Филиппов, В.А. Технология сушки и термоаэроклассификации углей / В.А. Филиппов. – М.: Недра, 1987 – 287 с.
11. Сиваченко, Л.А. Агрегат для измельчения и сушки / Л.А. Сиваченко, Н.В. Курочкин, А.Н. Хустенко: Меж. вуз. сб. статей // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород. БГТУ. – 2014. – С. 279–282.

#### Заключение

Проблемы переработки влажных сырьевых материалов имеют важное народно-хозяйственное значение, что обусловлено их огромными объемами, высокой стоимостью и сложностью применяемого оборудования, большими эксплуатационными издержками.

Применяемое оборудование в должной степени эти проблемы не решает, что в первую очередь связано с отсутствием научно аргументированных разработок в области проектирования технологических агрегатов для этих целей.

Предложена новая концепция повышения эффективности переработки ряда важных сырьевых материалов на основе использования адаптивных методов воздействия на обрабатываемую среду, создания оборудования с дополнительными функциональными возможностями, а также использования энергии ветра для предварительной сушки и энергосбережения.

Описаны новые конструкции оборудования: рыхлитель цепной для первичной обработки сырьевых материалов, комплекс для измельчения и холодной сушки и молотковый измельчитель с наклонным корпусом многоцелевого назначения, который способен осуществлять финишные стадии подготовки сырьевых материалов для последующего получения из них товарной продукции. Показано, что разработанное оборудование может найти широкое практическое применение на предприятиях на производстве таких строительных материалов, как цемент, известь и изделия строительной керамики.