

## НОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Л.А. Сиваченко<sup>1</sup>, Г.И. Белохвостов<sup>2</sup>, Т.Л. Сиваченко<sup>3</sup>, В.А. Потапов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Межгосударственное образовательное учреждение  
высшего образования

«Белорусско-Российский университет», Могилев, Беларусь

<sup>2</sup>Унитарное предприятие «Минскпроект», Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Унитарное частное производственное предприятие

«КБ «Промышленные технологии и комплексы», Могилев, Беларусь

<sup>4</sup>Учреждение образования

«Барановичский государственный университет»,

Барановичи, Беларусь

*Кратко описано разработанное авторами оборудование для измельчения, диспергирования, сортировки, обогащения, влагоотделения, улучшения реологических характеристик ряда материалов, входящих в состав твердых коммунальных, строительных и промышленных отходов.*

*Изложены различные методы переработки материалов, входящих в состав отходов, приведены конструкции цепных, пружинных, иглофризерных, многолезвийных и других аппаратов и дана оценка потенциала их технологического использования.*

### Постановка проблемы

В результате различных видов деятельности человека образуется огромное количество отходов [1]. Их состав и свойства чрезвычайно разнообразны, и если давать им оценку только по физико-механическим показателям, то это хрупкость, влажность, форма частиц (кусков), анизотропия, прочность, твердость, реологические характеристики, конгломеративность слагающего массива, плотность, абразивность и т. д. К этому следует добавить неоднородность по химическому составу, степень разложения, токсичность, химическую активность и ряд других, а также условия нахождения отходов: в терриконах, свалках и прочих их скоплениях после выведения из хозяйственного оборота. Условия их переработки по своей трудности представляют сложнейшую технологическую задачу.

Сегодня существует большой набор различных способов переработки отходов и превращения их в полезные материалы. При этом основными и во многом определяющими являются операции первичной стадии их переработки. Основными для них являются: исходная сортировка, измельчение, разделение по хрупкости, предварительное

обогащение, водоудаление, смесобразование. Однако существующие виды оборудования, которые используются для этих целей, уже не обеспечивают эффективной переработки отходов, а рост их объемов и возрастающие требования по эффективности использования, экологичности, производственным издержкам, а в идеале – соединения циклов потребления и утилизации во времени, заставляют нас искать новые направления дальнейшего развития машин для решения этих задач.

## **1. Методология создания нового оборудования для переработки отходов**

Процессы переработки неоднородных по составу и свойствам твердых отходов предъявляют к рабочему оборудованию технологических машин целый ряд взаимосвязанных требований, которые в итоге обеспечивают максимальную их эффективность [2].

1. Избирательное воздействие на отдельные агрегаты (конгломераты), входящие в состав массива или потока отходов, при котором целевому нагружению подвергается только определенная его часть [3].

2. Обеспечение «всеядности» процесса переработки при устойчивой работе оборудования на материалах с широким разбросом их физико-механических свойств [4].

3. Проведение процессов переработки отходов с максимальным использованием входящих в них полезных материалов [5, 6].

4. Придание массивам обрабатываемых отходов требуемых реологических характеристик [7].

5. Совмещение в одном агрегате различных технологических процессов [8].

Универсальную методическую базу для создания принципиально новых технологических машин различного назначения априори невозможно разработать, так как человечество уже давно использовало бы в ее своих практических целях. Тем не менее, остановимся на отдельных, достаточно обоснованных с научной точки зрения, подходах, которые могут дать приближенные направления в определенной части рассматриваемой нами проблеме. Коротко их представим и отметим, что в той или иной степени они использованы в разработанном оборудовании [9].

*Методы технологической вибротехники.* Основаны на вибрационных или динамических воздействиях при переработке сырья и материалов, которые создают особые условия в поведении как материала, так и рабочего оборудования.

*Адаптивные методы переработки материалов.* Используется механизм приспособленности рабочих органов к свойствам перерабатыва-

емых материалов. В основе их – бионика, т. е. опыт и механизмы живых организмов, а также растений взаимодействовать с внешней средой.

*Методы физико-химической механики.* В их основных положениях реализованы механизмы изменения состояния поверхности твердых тел путем введения поверхностно-активных веществ (ПАВ) и наложения внешних воздействий.

*Вариативные подходы проведения технологических процессов.* Включают в себя изменения характера условий проведения обработки материалов соответственно изменениям их свойств.

*Аномальные эффекты в проведении технологических процессов.* Методология этого подхода состоит в управлении свойствами обрабатываемых материалов за счет особых условий проведения процессов, например, физических полей, температуры, давления, магнитных свойств и т. д.

## 2. Основная часть

Конкретные примеры создания новых технологических аппаратов для переработки отходов на различных этапах существующих переделов приведены ниже.

**Цепной агрегат многоцелевого назначения.** Предназначен для измельчения, сортировки, камнеудаления, водоудаления, подсушки, предварительного обогащения и других процессов на первичных стадиях переработки сырья и отходов. Схема и общий вид одной из моделей цепного агрегата приведены на рисунке 1.

В простейшем исполнении цепной агрегат содержит несущую раму 1, загрузочный люк 2, рабочую камеру 3, рабочее оборудование 4 и привод 5 на основе кривошипно-шатунного механизма 6. Рабочая камера 3 образована боковыми стенками 7, 8 и рабочим оборудованием 4, состоящим из двухволновой цепной завесы 9. Обработка материала производится колеблющимися цепными элементами с интенсификаторами процесса (зубьями, ножами). Измельченный или отсортированный материал просыпается между звеньями цепей, а крупные или недробимые куски удаляются из агрегата через боковые проемы.

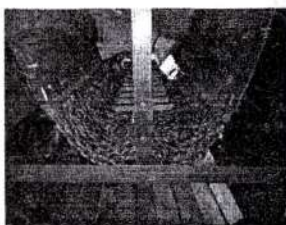
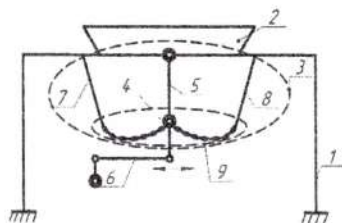


Рисунок 1 – Схема и общий вид цепного агрегата

Цепной агрегат [10] целенаправленно создавался для первичной переработки различных видов отходов. Диапазон границ разделения обработанного продукта 30–120 мм при производительности 3–5 т/ч.

**Молотковая дробилка с наклонным корпусом [11].** Особенностью ее конструкции является создание управляемого движения материала в рабочей камере, которая кроме того, что установлена под углом, в верхней части имеет расширение для устранения центробежного влияния движения частиц на процесс их разрушения. Схема и общий вид дробилки приведены на рисунке 2.

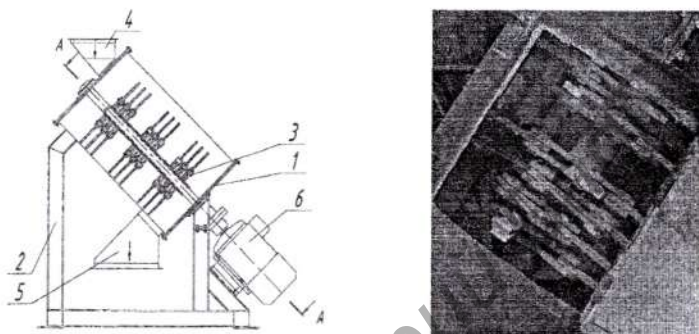


Рисунок 2 – Схема и общий вид молотковой дробилки с наклонным корпусом

Дробилка содержит рабочую камеру 1, смонтированную на раме 2, ротор 3 с секциями бильных элементов, загрузочный 4 и выгрузочный 5 люки и приводной электродвигатель 6. В такой установке совмещаются механизмы разрушения горизонтальной и вертикальной дробилок и достигаются новые технологические преимущества: меньший расход энергии, повышенная степень дробления, способность работы на материалах критической влажности.

**Пружинная мельница [2].** Разрушение материала осуществляется между витками изогнутой и вращающейся пружины. Создано около 50 конструктивных исполнений пружинных мельниц производительностью от 1 кг/ч до 50 т/ч. Схема разрушения материала и вариант выполнения пружинной мельницы промышленного назначения представлены на рисунке 3.

Пружинные мельницы обеспечивают тонкий и сверхтонкий помол материалов преимущественно минерального происхождения. Позволяют получать высококачественные и однородные композиции, являются хорошим механоактиватором. Могут работать по сухому и мокрому способу при крупности частиц исходного материала до 10–12 мм.

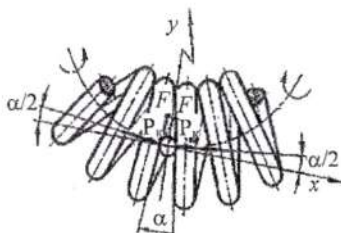


Рисунок 3 – Схема разрушения материала и общий вид пружинной мельницы промышленного назначения

**Пружинный грохот** [12]. Просеивающей поверхностью грохота является пружина сжатия, которая приводится в колебательное движение аналогично грохотам других конструкций. Механизм просеивания материала и пример секционного выполнения рабочего оборудования одного из вариантов пружинного грохота изображены на рисунке 4.

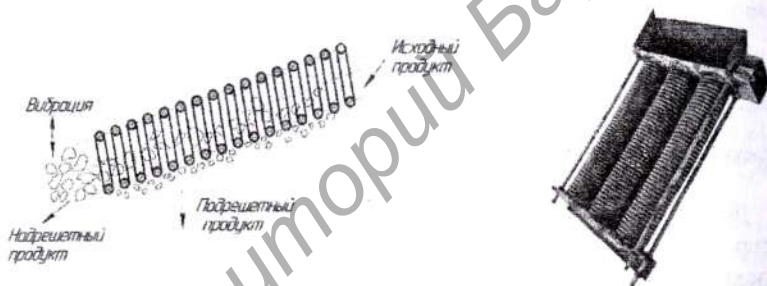


Рисунок 4 – Механизм разделения и конструкция секционного оборудования пружинного грохота

Пружинный грохот, рабочее оборудование которого может состоять из различного набора пружин, предназначен для эффективного разделения материалов по границе крупности 0,5–10 мм при производительности от 5 кг/ч до 150–200 т/ч. Позволяет работать на материалах повышенной влажности, самоочищается. Главная его особенность – плавное изменение границы разделения путем поджатия витков пружин и компенсации этим износа их боковых поверхностей.

**Иглофрезерные измельчители** [4]. Принцип действия этих аппаратов основан на применении в качестве рабочих органов металлических щеток различных конструкций. Инструмент подобного типа очень широко используется в обработке металлических поверхностей, но для измельчения ранее не применялся. Щеточный или иглофрезер-

ный рабочий орган может осуществлять обработку материала концевыми участками проволочек путем истирания, среза, сжатия, удара и т. д. Этот вид оборудования только начинает развиваться, и можно предположить, что, например, при измельчении твердых коммунальных отходов (ТКО) он сможет найти самое широкое использование. Один из вариантов выполнения иглофрезерного рабочего органа и измельчителя истирающего действия на его основе показаны на рисунке 5.

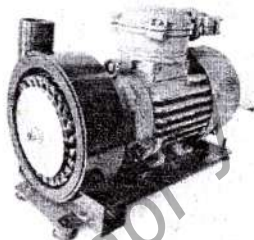


Рисунок 5 – Иглофрезерный рабочий орган и измельчитель истирающего действия на его основе

**Измельчитель с многолезвийными рабочими органами.** Идеология измельчения вязкопластичных и композиционных материалов в такой установке заключается в создании большого числа режущих кромок с помощью фрезерных органов различной конструкции, образующих зоны высокой интенсивности разрушения. Пример создания такой конструкции для ТКО иллюстрируется рисунком 6, где приведена схема дробилки с многолезвийными рабочими органами и опытный образец для ее реализации.

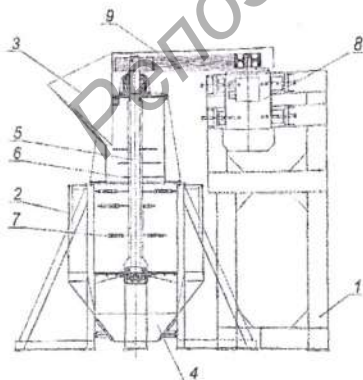


Рисунок 6 – Схема и опытный образец измельчителя с многолезвийными рабочими органами

Дробилка содержит раму 1, рабочую камеру 2 с просеивающей решеткой, загрузочный люк 3 и выгрузочный патрубок 4, вертикальный ротор 5 с билами 6 для измельчения минералов и многолезвийных фрез 7 для остальных компонентов ТКО. Ротор приводится во вращение от электродвигателя 8 через клиноременную передачу 9. Агрегат работает по методу принудительной циркуляции материала и отвода через боковые решетки измельченной фракции.

Достижимая крупность измельчения – 10–30 мм при энергоемкости процесса 9–12 кВт/ч/т и размерах исходных кусков материала до 120–150 мм. Разработана конструкторская документация на промышленную дробилку производительностью 10 т/ч.

### **Заключение**

Описанные подходы в организации процессов переработки отходов различных видов и примеры их конкретной реализации могут быть использованы для решения комплексных задач по их регенерации и предлагаются в качестве методической базы и конструкторских решений по освоению отечественным машиностроением новой конкурентоспособной продукции.

### **Список литературы**

1. Федоров, Л.Г. Управление отходами в крупных городах и агломерационных системах / Л.Г. Федоров. – М.: Примма-пресс, 1999. – 110 с.
2. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др]. – Минск: БГУ, 2008. – 375 с.
3. Сиваченко, Л.А. Реализация единичных актов разрушения материалов в агрегатах ударно-стирающего действия / Л.А. Сиваченко, Н.В. Курочкин, Т.Л. Сиваченко // Ударно-вибрационные системы и машины для строительной и горной отраслей: материалы междунар. науч. симпозиума. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – С. 43–49.
4. Севостьянов, В.С. Технологические аппараты с иглофрезерными рабочими органами для комплексной переработки композиционных материалов / В.С. Севостьянов, Т.Л. Сиваченко, С.А. Михайличенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 2. – С. 50–56.
5. Сиваченко, Л.А. Технологический потенциал машиностроения / И.А. Савченко // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 3. – С. 3–14.

6. Сиваченко, Л.А. Технологический потенциал машиностроения, Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 4. – С. 3–11.

7. Сиваченко, Л.А. Новые конструкции механоактиваторов адаптивного действия для бетонных смесей / Л.А. Сиваченко, Е.А. Шаройкина, Т.Л. Сиваченко // Механизация строительства. – 2017. – № 1. – С. 11–17.

8. Сиваченко, Л.А. Зубофрезерный измельчитель для твердых бытовых отходов / Л.А. Сиваченко, Е.И. Дерман // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сборник докладов Междунар. науч.-техн. конф. / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2015. – Ч. 3. – С. 306–310.

9. Сиваченко, Л.А. Технологическое машиностроение – инновационный резерв мировой экономики / Л.А. Сиваченко, Т.Л. Сиваченко. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 254 с.

10. Сиваченко, Л.А. Многофункциональный технологический агрегат с цепным рабочим оборудованием / Л.А. Сиваченко, В.А. Потапов, Т.Л. Сиваченко // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: матер. междунар. науч.-техн. конф. / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2018. – С. 210–215.

11. Дробилка ударного действия: пат. ВУ 22189 / Л.А. Сиваченко, Н.В. Курочкин, А.Н. Хустенко. – Опубл. 26.06.2018.

12. Толочинец, И.М. Экспериментальные исследования рабочего процесса пружинного грохота / И.М. Толочинец, Л.А. Сиваченко // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 2 – С. 34–41.