

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЦЕПНОГО АГРЕГАТА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Л.А. Сиваченко¹, В.А. Потапов², Г.Н. Дракин¹

*¹Белорусско-Российский университет,
228011@mail.ru, 1g_drakin@mail.ru*

*²Барановичский государственный университет,
vladimir-potapov1990@mail.ru*

В статье описаны результаты технологических испытаний цепного грохота по переработке хвостов несортированных твердых коммунальных отходов. Описаны конструкция, принцип действия цепного двухволнового агрегата, а также влияние его параметров и режимов работы на эффективность грохочения. Обоснована область рационального использования нового оборудования.

Ключевые слова: цепной агрегат, грохот, твёрдые коммунальные отходы, эффективность грохочения, органическая часть, граница разделения, адаптивный механизм, селективность.

Рассмотрим в авторском понимании некоторые задачи развития оборудования и технологий для комплексной и эффективной переработки отходов, прежде всего твердых коммунальных несортированных отходов, которые в силу известных причин в количестве до 80% вывозятся на полигоны ТКО [1,2]. В своей совокупности это является чрезвычайно важной национальной проблемой экологического, ресурсного, экономического и социального характера, что требует ее настоятельного решения.

Первоочередной задачей при этом следует считать разработку технических и технологических решений, направленных на увеличение уровня использования ТКО [3, 4]. Наименее задействованными в переработке и использовании из состава ТКО занимают компоненты, образующие отсев мелких фракций, который практически полностью вывозится на захоронение. Их доля в общем балансе ТКО составляет до 40% [1], что требует кардинального улучшения сложившейся ситуации на основе новых научных подходов и методов.

Озвученные задачи решаются авторами совместно с ведущими специалистами института ЖКХ Национальной академии наук РБ.

Разработка сортировочного оборудования.

В качестве базового агрегата остановимся на двухволновом цепном агрегате [5, 6]. Выполненные ранее технологические испытания

лабораторного образца позволяют считать его перспективным видом оборудования. С учётом изложенного состояния и уровня работ в области сортировки ТКО нами разработан опытно-промышленный образец двухволнового цепного агрегата. Схема его рабочего оборудования и общий вид приведены соответственно на рисунках 1, 2, а техническая характеристика – в таблице 1.

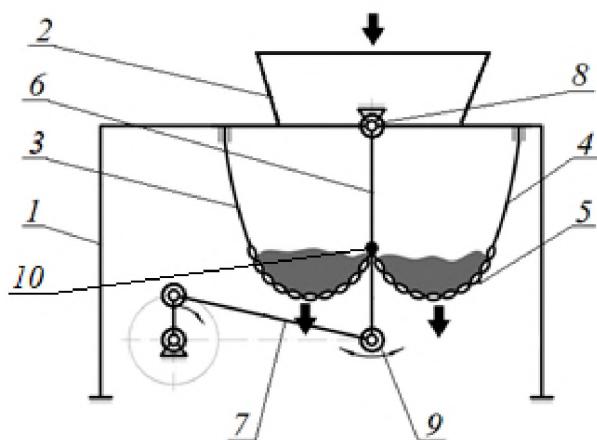


Рис. 1. Схема рабочего оборудования двухволнового цепного агрегата.



Рис. 2. Общий вид опытно-промышленного образца двухволнового цепного агрегата.

Таблица 1.
Техническая характеристика опытно-промышленного образца двухволнового цепного агрегата.

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Значение
1	Размер цепной поверхности в плане	мм	750×350
2	Граница разделения материала	мм	40
3	Максимальная крупность кусков загружаемого материала	мм	200
4	Угол наклона рабочей камеры	град.°	0-20
5	Мощность приводного электродвигателя	кВт	3,0
6	Напряжение питания	В	380
7	Частота вращения кривошипа	об/мин	0-487
8	Длина кривошипа	мм	50/65/80/95/110
9	Габаритные размеры агрегата длина ширина высота	мм	1120 880 1200
10	Масса агрегата	кг	340

Разработанный цепной агрегат был использован для проведения технологических испытаний по сортировке твердых коммунальных отходов в

производственных условиях участка «Сортировочно-перегрузочная станция» «коммунального унитарного многоотраслевого предприятия жилищно-коммунального хозяйства» «Барановичское городское жилищно-коммунальное хозяйство». Приведем в сокращенной форме основные результаты этих испытаний.

Предварительно цепной агрегат был испытан на отсеве после барабанного грохота и оснащении его цепными полотнами, размеры отверстий которых могли составлять соответственно 45 или 100 мм. Такой вариант испытаний был обусловлен наличием в отсеве достаточно крупных включений. Поступивший отсев на цепные полотна с условными размерами отверстий 100 мм практически весь просыпался через них и процесса разделения материала не наблюдалось.

Полученные собственные результаты и рекомендуемая верхняя граница разделения – 40 мм при сортировке отсева [1] явились основанием для испытания цепного агрегата с использованием цепных полотен, позволяющих отделять фракцию размером менее 40 мм.

В проведенных технологических исследованиях рабочего процесса цепного агрегата использовался отсев следующего морфологического и фракционного состава (см. таблицы 2, 3) со средней влажностью органической части 45,6 %.

Таблица 2.
Морфологический состав отсева

№ п/п	Наименование отходов	Удельный вес, %
1	Органическая часть	80,1
2	Пластик	3,1
3	Стекло	6,1
4	Бумага	3,7
5	Текстиль	0,6
6	Металл	1,3
7	Строительные отходы	4,2
8	Кости	0,13
ИТОГО		100

Таблица 3
Фракционный состав отсева

Размер фракции, мм	0–10	10–20	20–30	30–40	40–70	70 и более	ИТОГО
Удельный вес, %	11,0	11,2	23,7	19,2	34,2	0,7	100

Процесс грохочения отсева в цепном агрегате характеризуется двумя основными параметрами – производительностью Q и эффективностью грохочения E , которые определялись по известным методикам. Оценка

эффективности грохочения E производилась по извлечению фракции 0–40 мм, согласно рекомендациям [1].

При проведении экспериментов цепные полотна рабочей камеры во всех опытах были загружены на 70–100 % по объему, что позволило определить параметры Q и E при неоптимальных условиях работы и таким образом установить предельные возможности цепного агрегата в рассматриваемом диапазоне изменения режимов работы, в том числе оценить склонность к налипанию и забиванию материалом цепных полотен.

Фрагменты отсева ТКО представлены на рисунке 3.



a)



б)

Рис. 3. Фрагменты отсева ТКО
а – общий вид; *б* – исходный материал для проведения эксперимента

Для оценки влияния геометрических и кинематических параметров приводного механизма и рабочей камеры, а также изменения угла наклона цепного агрегата на производительность Q и эффективность грохочения E было применено ротатабельное планирование эксперимента второго порядка.

Подрешетный продукт, полученный в цепном агрегате, характеризуется рассыпчатой структурой (см. рисунок 4), что достигается его активным просеиванием через цепные полотна в сочетании с ударным воздействием на отдельные частицы со стороны элементов рабочей камеры. В процессе работы пространство между звеньями цепных полотен не забивались материалом, что объясняется подвижностью самих звеньев.



Рис. 4. Подрешетный продукт, полученный в цепном агрегате

Полученные результаты и выводы

1. Исследованы функциональные возможности цепного агрегата при сортировке отсева ТКО. Установлено, что конструктивное исполнение рабочей камеры позволяет достичь интенсивного перемещения материала по поверхности цепных полотен и создавать ударное воздействие посредством рабочих элементов камеры, что способствует эффективному перемешиванию и разделению материала. При этом подвижность звеньев цепей позволяет им самоочищаться и исключать забивание цепных полотен. Описанные процессы позволяют достичь эффективность грохочения $E = 70,7\text{--}76,8\%$ с удельной производительностью $q = 1,95\text{--}2,94 \text{ т} / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ при степени загрузки цепных полотен 70–100 % по объему. Стоит отметить, что режимы работы цепного агрегата с производительностью $Q > 1 \text{ т} / \text{ч}$, имеют эффективность грохочения E на уровне 50 %, что обусловлено быстрым прохождением материала по поверхности цепных полотен, из-за чего часть мелких фракций не успевает просеяться и уходит вместе с крупными частицами, что объясняется снижением интенсивности перемешивания материала в рабочей камере.

2. Проведены экспериментальные исследования в условиях производства, позволяющие установить влияние геометрических и кинематических параметров приводного механизма, а также изменения угла наклона цепного агрегата на производительность Q и эффективность грохочения E отсева ТКО. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании опытно-промышленного образца цепного агрегата.

3. По результатам эксперимента установлено: цепной агрегат обладает следующими диапазонами производительности $Q = 0,099\text{--}1,359 \text{ т} / \text{ч}$ ($q = 0,35\text{--}4,86 \text{ т} / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$) при площади живого сечения цепных полотен $0,28 \text{ м}^2$) и эффективности грохочения $E = 17,6\text{--}76,8\%$. Изменение величин Q и E в относительно широком диапазоне позволяют сделать вывод о значимости варьируемых параметров и оценить степень их влияния.

4. Следует отметить способность элементов рабочей камеры цепного агрегата производить отбивку с поверхности крупных включений ТКО мелких частиц, пыли, грязи, а также измельчать отходы пищевых продуктов, что дополнительно позволит увеличить выход органической части.

5. В процессе технологических испытаний не выявлено нарушений работоспособности или отказов основных узлов и элементов цепного агрегата.

6. Цепной агрегат хорошо вписывается в состав сортировочной линии и может использоваться для выделения органической части ТКО в виде мелкой фракции крупностью 0–40 мм из которой после соответствующего вида компостирования будет получаться продукт, так называемый технический компост или техногенный грунт, которые можно использовать для собственных потребностей предприятий жилищно-коммунального хозяйства и реализации на рынке.

7. Выведение органической части из состава отходов ТКО, вывозимых на полигоны, позволяет исключить выполнение слоёв минерализации или уменьшить их объемы при условии сохранения пожаробезопасности. За счет

указанных мероприятий общие объемы складирования на этих объектах можно уменьшить на 15–20 %.

Предложения по результатам технологических испытаний цепного агрегата

1. Проведенные испытания свидетельствуют о том, что цепной агрегат является эффективным и перспективным видом оборудования для сортировки отсева ТКО по границе разделения 40 мм. Используя методы масштабирования, полученные удельные показатели работы цепного агрегата (средний диапазон удельной производительности $q_{ср} = 2,0\text{--}2,5 \text{ т} / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ и удельного энергопотребления 0,3–0,5 кВт·ч / т) позволяют спрогнозировать, что промышленный образец цепного агрегата при производительности по питанию 6–8 т / ч будет иметь размеры цепных полотен в плане $2,25 \times 0,7 \text{ м}$ (общая площадь просеивающей поверхности – $3,15 \text{ м}^2$), мощность приводного электродвигателя 7,5 кВт, габаритные размеры $3 \times 1,75 \times 1,75 \text{ м}$ и массу около 750 кг.

2. При создании промышленного образца цепного агрегата целесообразно сохранить аналогичные варьируемые геометрические и кинематические параметры цепного агрегата, диапазон которых необходимо выбирать, учитывая полученные результаты. Это позволит провести полномасштабные производственные испытания цепного агрегата с учетом изменчивости морфологического и фракционного состава ТКО и установить оптимальные режимы работы.

3. В техническом задании на проектирование подобного цепного агрегата целесообразно предусмотреть возможность его оснащения цепной просеивающей поверхностью с размерами отверстий 70–120 мм, и одновременную установку двух просеивающих поверхностей для получения продуктов трёх классов крупности, в частности – 40 мм и менее, 40–70(120) мм, 70(120) мм и более.

Использование полученных составов для производства товарной продукции.

Данная технологическая задача сопряжена с решением целого ряда проблем, которые требуют не только специфических подходов, но и выполнения большого комплекса исследовательских работ. Это, в первую очередь, касается проведения дополнительных операций по обогащению, т.е. более качественному разделению составов из хвостов не только по крупности, но и по вещественному набору требуемых компонентов, а также достоверному химическому анализу получаемых продуктов с учётом сезонной изменчивости их состава, что необходимо для исключения возможных рисков получения некондиционной продукции.

Разработанное оборудование может быть включено в качестве одной из основных единиц в состав технологического комплекса по сортировке и обогащению смешанных ТКО. В силу своих конструктивных особенностей, описанных ранее, они хорошо вписываются в действующие или вновь разрабатываемые производственные линии. Технологическая схема

сортировочно-обогатительной линии для комплексной переработки смешанных ТКО приведена на рисунке 5.

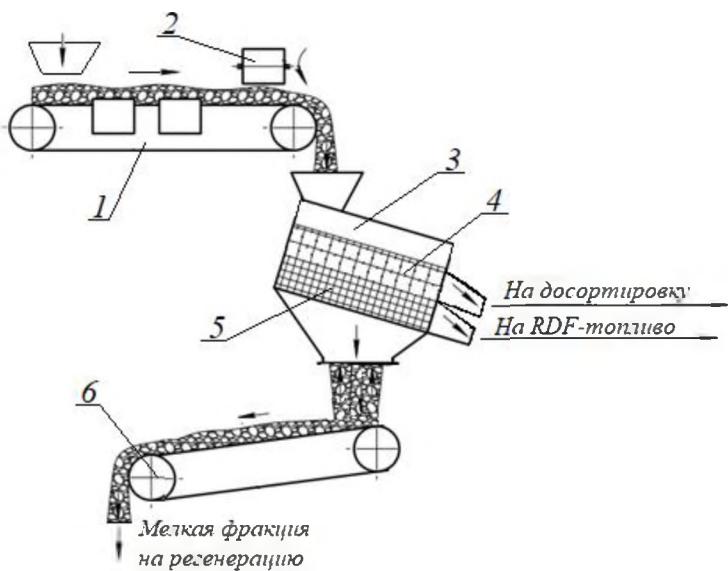


Рис. 5. Технологическая схема сортировочно-обогатительной линии для комплексной переработки смешанных ТКО.

В состав рассматриваемой линии входит конвейер 1 ручной сортировки с установленным над ним электромагнитным отделителем металла 2 после которых расположен двухволновой цепной грохот 3 с просеивающими поверхностями 4, 5. Следует заметить, что на конвейер 1 подлежащие сортировке ТКО подаются пластинчатым питателем (условно не показан) с приемной площадки после отбора крупных объектов. После сортировки в грохоте 3 крупная фракция, например, с размерами более 80 мм, поступает на досортировку, промежуточная фракция, например, более 30 мм, отбирается в качестве одного из компонентов для получения RDF-топлива, а самая мелкая, т.е. менее 30 мм, с учётом обогащения её путём дезинтеграции и отбивки пищевых и других продуктов ножевыми интенсификаторами поступает на регенерацию. Для условий Беларуси сегодня наиболее простым и эффективным способом использования мелкой фракции хвостов ТКО следует считать компостирование. Описанная технологическая схема с приведенным набором оборудования, а также указанные численные границы разделения являются условными и должны корректироваться.

Библиографический список

1. Китиков В. О. Ресурсный и экологический анализ технологий обращения с твердыми коммунальными отходами / В. О. Китиков, И. В. Барановский, И. И. Вага // моногр.; Минск; Беларуская наука, 2023. – 196 с.
2. Севостьянов В. С. Технологические комплексы и оборудование для переработки и утилизации техногенных материалов / В. С. Севостьянов, В. И. Уральский, М. В. Севостьянов, О. А. Носов. – Белгород, БГТУ, 2015. – 321 с.

3. Сиваченко Л.А. К формированию технической базы адаптивных механизмов переработки дисперсных материалов / Л.А. Сиваченко, Л.Л. Сотник, М.С. Кузьменкова // Науч.-техн. журнал. Вестник БарГУ, Барановичи. Серия технические науки, № 1, 2023. – С. 39-45.
4. Сиваченко Л.А. Комплексная оценка развития технологических машин и комплексов / Сиваченко Л.А., Богданов В.С., Бурьянов А.Ф. // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей – Белгород,: БГТУ, 2024. – С. 237-243.
5. Евразийский патент № 038851. Агрегат для переработки неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов, МПК В02С19/00, Авт. Сиваченко Л.А., Потапов В.А., Сиваченко Т.Л., Опубл. 17.02.2022.
6. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия: моногр., / Л. А. Сиваченко [и др.] под науч. ред. Л. А. Сиваченко; Барановичи, БарГУ, 2020. – 359 с.