

УДК 628.47.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

*Р. А. Приходько*

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Проведён анализ состояния утилизации и переработки отходов в России. Доказана экономическая и экологическая рациональность переработки отходов по сравнению с их обезвреживанием и дальнейшим захоронением. Дан сравнительный анализ ручной, полуавтоматической и автоматической сортировки твёрдых бытовых отходов. Проведен сравнительный анализ установок обеззараживания отходов по параметрам: производительность, класс обезвреживаемых отходов и их объём, остающийся от начального. Рассмотрены перспективные способы обезвреживания отходов и их дальнейшего прессования.

**Ключевые слова:** отходы, переработка, утилизация, захоронение, автоматизация технологического процесса, прессование.

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEMS FOR WASTE PROCESSING

*R. A. Prikhodko*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The paper analyzes the state of waste disposal and recycling in Russia. The rationality of waste processing has been proved from the economic and environmental points of view in comparison with their neutralization and further disposal. A comparative analysis of manual, semi-automatic and automatic sorting of solid household waste is given. A comparative analysis of waste decontamination plants was carried out according to the following parameters: productivity, class of waste to be decontaminated and their volume remaining compared to the initial one. Promising methods of waste disposal and further pressing are considered.

**Keywords:** waste, recycling, disposal, waste burial, automation of the technological process, pressing.

**Введение.** На сегодняшний день экология выходит на первый план. В сфере утилизации отходов эта тенденция выражается в снижении количества захораниваемых отходов, а также во вторичном их использовании (переработке). На сегодняшний день в России перерабатывается 4 % отходов, обезвреживаются с последующим захоронением — 2 %, остальные 94 % — отправляются на захоронения без обезвреживания [1]. Захоронение отходов на полигонах, под землёй и в море без обезвреживания опасно в связи с выбросами в почву и воду токсичных веществ.

С экологической и экономической точек зрения наиболее рациональным является переработка отходов. На сегодняшний день на каждом отходоперерабатывающем заводе в России сортировка проходит в ручном или полуавтоматическом режиме [2]. При ручной сортировке количество пропускаемых ценных объектов достигает 30%, введение же автоматизированных линий сортировки мусора позволяет исключить пропуск перерабатываемых отходов.

Целью данной работы является анализ перспектив автоматизации процессов утилизации отходов, а именно анализ преимуществ автоматической сортировки по сравнению с ручной, а также анализ существующих и перспективных способов обезвреживания и прессования отходов для дальнейшего их захоронения.

**Способы сортировки.** При эксплуатации линии автоматической сортировки основная задача заключается в распознавании и извлечении искомого типа отходов. В табл. 1 приведены используемые способы распознавания и извлечения наиболее многочисленных фракций в твердых бытовых отходах (ТБО) в полуавтоматическом режиме [3].

Таблица 1

Способы извлечения отходов по фракциям

Фракция ТБО	Способ извлечения
Черный металл	Электромагнитная сепарация
Цветной металл	Воздействие переменного «бегущего» магнитного поля, дробление и пневмовибрационная сепарация
Бумага	Пневматическое разделение фракций по скорости витания в потоке воздуха; гидропульпация и осаждение тонковолокнистых фракций
Текстиль	«Сухое» извлечение в цилиндрических грохотах с крючками (вилчатые установки); сепарация за счет сохранения прочности (в отличие от бумаги) при смачивании и перетирании
Синтетическая пленка	Пневматическое разделение по скорости витания в потоке воздуха; сепарация за счет сохранения прочности при смачивании и перетирании; электростатическая сепарация
Стекло	«Мокрая» сепарация в циклонах; пневматическое отделение в восходящем потоке воздуха по скорости витания; сепарация в метателях с отражательной плитой по упругости и баллистическим свойствам

Проблема комбинирования полуавтоматических способов извлечения заключается в наличии брака, оставшемся после выявления искомого типа ТБО [4]. Автоматические линии сортировки, также как и линии с ручной сортировкой используют оптический анализ потока ТБО. На автоматической линии для распознавания используется компьютерное зрение.

Анализ эффективности сортировки роботизированной линии проведен в исследовании [5]. На рис. 1 представлен график пропуска объектов на роботизированной линии с использованием дельта-робота FlexPicker.

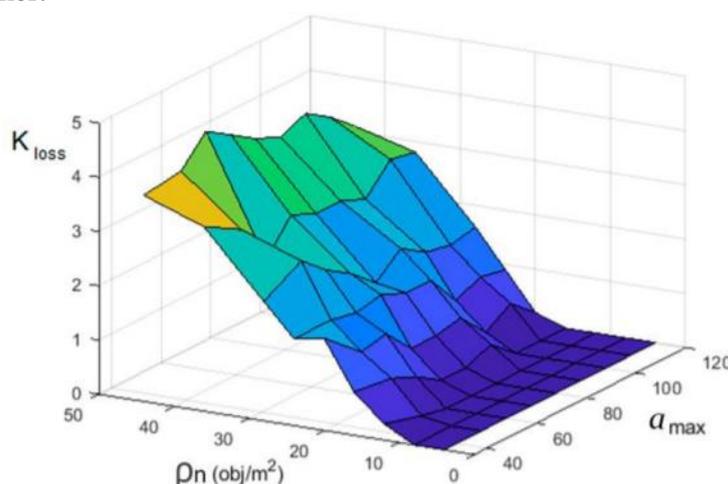


Рис. 1. Зависимость количества пропускаемых объектов ( $K_{loss}$ ) от их плотности на конвейере ( $\rho_{n(obj/m^2)}$ ) и максимального установленного ускорения дельта-робота FlexPicker ( $a_{max}$ )

Оставшиеся после роботизированной сортировки отходы имеют фракцию меньше 15 мм, либо не перерабатываемы [6], такие отходы подлежат обезвреживанию и захоронению.

**Сравнительный анализ обезвреживателей.** В табл. 2 приведено сравнение способов обезвреживания ТБО. Для чистоты сравнения рассматриваются установки только фирмы ГЭС-ЭТ 2019 г. выпуска. Они представлены на рис. 2.

Таблица 2

Сравнение установок обезвреживания отходов

Тип	Производительность, кг/час	Объём от начального, %	Класс отходов	Стоимость, руб.
Инсинератор	До 150	4–6	3–5	1 000 000
Барабанная вращающаяся печь	До 3000	10–40	3–5	8 500 000
Установка термолиза	До 2500	10–20	4–5	10 000 000
Плазменная	До 50	<1	1–2	4 000 000

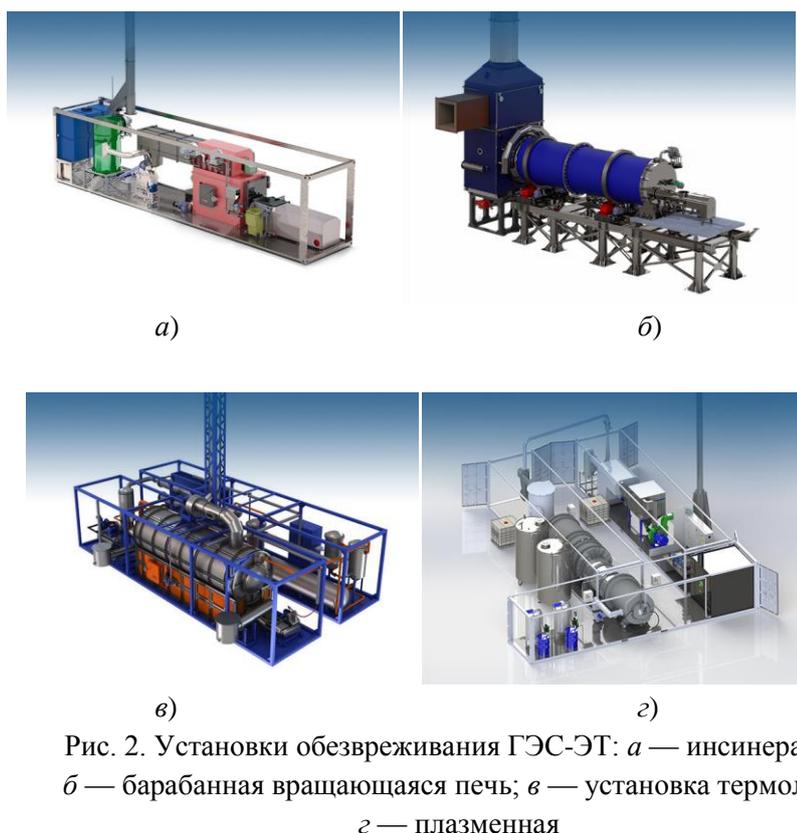


Рис. 2. Установки обезвреживания ГЭС-ЭТ: *а* — инсинератор; *б* — барабанная вращающаяся печь; *в* — установка термолиза; *г* — плазменная

Из таблицы 2 следует, что с экологической точки зрения наиболее рациональным является плазмотрон [7] (рис. 2 *г*), так как именно он утилизирует отходы наивысшего класса и оставляет наименьшее количество отходов [8]. В то же время именно этот способ утилизации является наименее продуктивным и занимает большее время на утилизацию.

На втором месте, с экологической точки зрения, расположены инсинераторы (рис. 2 а). Их преимущество заключается в более выгодном соотношении стоимости и объёма отходов, оставшегося от начального, относительно барабанных вращающихся печей и установок термолиза [9].

Барабанные вращающиеся печи (рис. 2 б) и установки термолиза (рис. 2 в) встречаются наиболее часто и наиболее привлекательны по соотношению «производительность — стоимость». Барабанные вращающиеся печи имеют преимущество над установками термолиза в большей привлекательности соотношения «производительность — стоимость», а также обезвреживают более высокие по классу опасности отходы. Преимущество установок термолиза над барабанными вращающимися печами заключается в меньшем остаточном объёме отходов после обработки.

С целью уменьшения площади, занимаемой отходами, на полигоне рационально уменьшить их объём с помощью прессования [10]. Для этого используют гидравлические и электромеханические приводы, однако наиболее перспективными на данный момент являются пьезоэлектрические и нитиноловые приводы. Последние отличаются наиболее высокими усилиями на единицу объёма рабочей области [11]. Из этого следует вывод — перспективно развитие прессов на автоматических линиях утилизации отходов с использованием автоматических прессов с нитиноловыми приводами.

**Выводы.** Переработка отходов путем их сортировки и последующего прессования является перспективным направлением. Сравнение ручной и автоматической сортировки указывает на рациональность последней по признаку пропуска искомых фракций, что приводит к большему количеству вторсырья и уменьшению объёма захораниваемых отходов. Перспектива развития операции обезвреживания заключается в развитии плазменных установок для увеличения производительности и снижения стоимости процесса переработки. Перспектива операции прессования на заводах утилизации и переработки ТБО заключается во внедрении технологии нитиноловых приводов в конструкцию прессов.

Использование результатов проведенного исследования позволит снизить вредное влияние ТБО на окружающую среду за счёт снижения площади полигонов захоронения отходов, а также повышения экономической эффективности отходоперерабатывающих заводов.

### Библиографический список

1. Россия в цифрах. 2018 : краткий статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики — Москва : Р76, 2018. — 522 с.
2. Ермолаева, П. О. Социально-экологический метаболизм городов: концептуализация, научные школы, современные зарубежные исследования / П. О. Ермолаева // Социологическая наука и социальная практика. — 2016. — № 3. — С. 34–50.
3. Прасолова, Е. А. Услуга "умная сортировка мусора в условиях города" / Е. А. Прасолова // Аллея науки. — 2017. — Т. 5, № 16. — С. 1013–1015.
4. Лаврентьев, А. А. Анализ способов сепарации жидких сред / А. А. Лаврентьев, И. Ю. Кузнецов, Р. В. Шинкарёв // Молодой исследователь Дона. — 2020. — № 2 (23). — С. 49–54.
5. Гемулев, Ш. Ш. Роботизированный комплекс сортировки твёрдых бытовых отходов / Ш. Ш. Гемулев, С. А. Воротников // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2019. — № 2. — С. 194–207.
6. Исследование влияния параметров рабочих тел индуктора на коэффициент мощности / Н. В. Лимаренко, И. А. Успенский, И. А. Юхин, Г. А. Борисов // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. — 2019. — № 3 (55). — С. 360–369. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-45>

7. Месхи, Б. Ч. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б. Ч. Месхи, Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров // Вестник Донского государственного технического университета. — 2017. — Т. 18, № 4. — С. 129–135. <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135>

8. Лимаренко, Н. В. Создание экологически безопасной технологии утилизации стоков животноводства / Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров, Б. Г. Шаповал // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) : сб. науч. тр V Междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону : ДГТУ-ПРИНТ, 2017. — С. 175–179.

9. Лимаренко, Н. В. Создание математической модели технологического процесса обеззараживания стоков животноводства / Н. В. Лимаренко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. — 2017. — № 3. — С. 108–112.

10. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением их во вторичный оборот / М. В. Кравцова, А. В. Васильев, А. В. Кравцов, Н. С. Носарев // Известия Самарского научного центра РАН. — 2017. — № 4. — С. 804–809.

11. Манак, Т. Н. Экспериментальное изучение физико-механических свойств никель-титановых роторных эндодонтических инструментов / Т. Н. Манак, В. Г. Девятникова, Е. В. Радивилина // Современная стоматология. — 2018. — № 3. — С. 81–86.

*Об авторе:*

**Приходько Роман Андреевич**, магистрант Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [pap4ikik@mail.ru](mailto:pap4ikik@mail.ru)

*Author:*

**Prihodko, Roman A.**, Master's degree student, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), [pap4ikik@mail.ru](mailto:pap4ikik@mail.ru)