

УДК 504.064.47

**Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаяев,  
Д.Л. Борисов, Я.В. Базылева**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ С ЦЕЛЬЮ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТБО**

Рассмотрены основные аспекты извлечения энергетического потенциала твердых бытовых отходов в виде вторичного топлива RDF с использованием оборудования комплекса оптико-механической сортировки отходов, созданного на кафедре охраны окружающей среды Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Ключевые слова:** ресурсный потенциал, вторичное сырье, твердые бытовые отходы, ручная сортировка, автоматическая сортировка.

**Введение.** Очень важной характеристикой твердых бытовых отходов с точки зрения ресурсосбережения и охраны окружающей среды является содержание задолженного в них ресурсного потенциала. Он включает в себя материальную, энергетическую и биологическую составляющие [1]. Реализация каждой из перечисленных составляющих позволяет значительно снизить затраты на энергетические и сырьевые ресурсы в различных отраслях хозяйственной деятельности, сократить эмиссии в окружающую среду и уменьшить объем захораниваемых отходов.

**Вторичное топливо RDF.** В ТБО содержатся компоненты с относительно высокой теплотворной способностью (бумага, картон, пластики, резина, тетрапак, текстиль и древесина). Теплотворная способность фракций ТБО, кДж/кг:

органические отходы .....	13 580
древесина .....	20 630
бумага/картон .....	16 290
пластик.....	38 580
текстиль.....	19 900
тетрапак.....	17 900
резина.....	33 500
другие категории .....	14 000

Эти компоненты являются основой для вторичного топлива RDF (от англ. «refuse derived fuel»). RDF применяют для производства изделий цементной промышленности, котельного, печного топлива и др.

Существует два подхода к производству RDF: целевой, когда реализуется технология, целью которой является получение топлива, и остаточный, т.е. извлечение калорийных компонентов из «хвостов», образующихся после выделения из отходов вторичного сырья.

Основой обоих подходов является сортировка. Кроме высококалорийных фракций в ТБО содержатся компоненты, применение которых при производстве RDF снижает их теплотворную способность или опасно для окружающей среды (стекло, металлы, хлорсодержащие полимеры, компоненты с высоким содержанием влаги). Поэтому удаление их из потока обязательно при любом подходе.

В общем виде технологическая схема реализации целевого подхода представлена на рис. 1, а остаточного – на рис. 2.

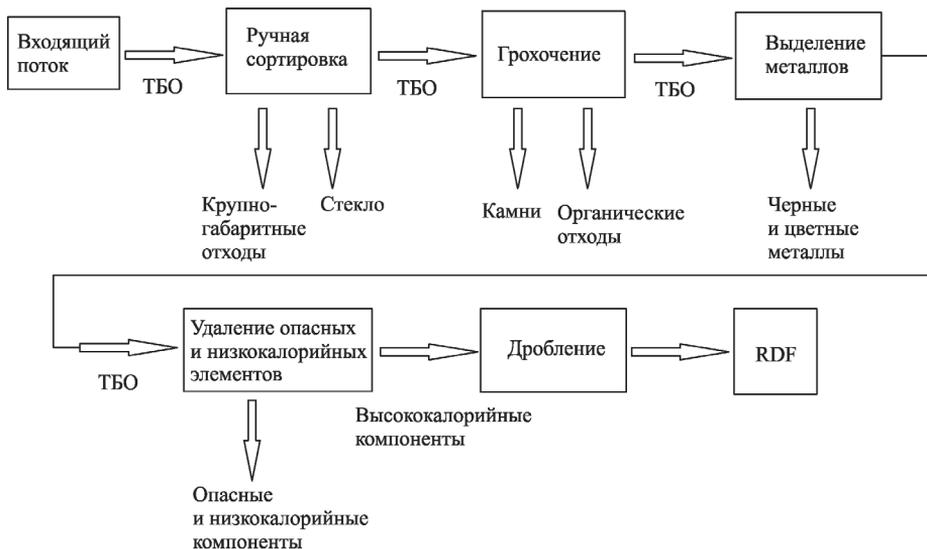


Рис. 1. Принципиальная схема целевого подхода при получении RDF

Важно отметить, что применение ручной сортировки, наиболее распространенной сейчас в России, на стадии удаления опасных и низкокалорийных компонентов возможно чисто теоретически, потому что визуально распознать некоторые элементы, такие как ПВХ, в потоке отходов крайне проблематично.

К сожалению, человек не в силах выделить из потока объект с геометрическими размерами менее 50 мм, что обеспечивает потерю большого процента по массе конечного продукта при реализации обоих подходов.

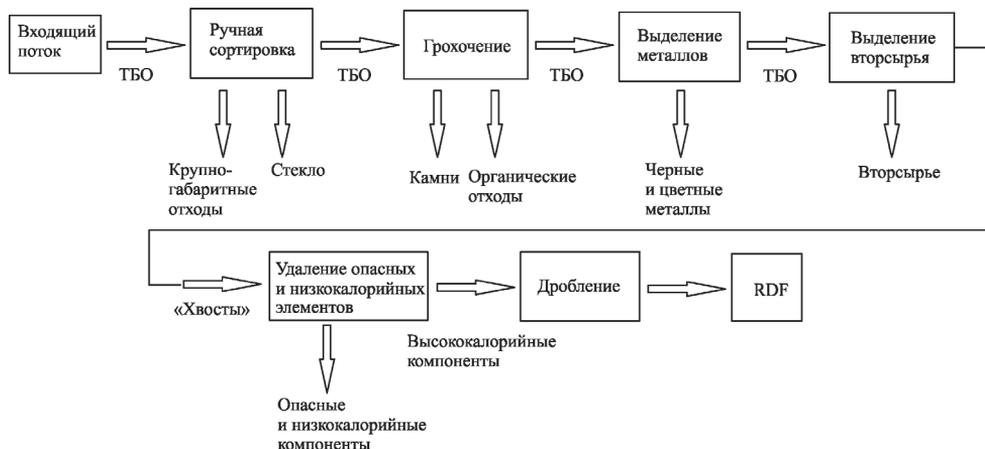


Рис. 2. Принципиальная схема остаточного подхода при получении RDF

Альтернативой ручной сортировке при получении RDF является автоматическая сортировка, основанная на оптическом распознавании материала. Одним из представителей фирм-производителей автоматических оптических сортировочных линий является фирма TOMRA, бывшая TITECH (Германия). Принципиальная схема работы оборудования представлена на рис. 3.

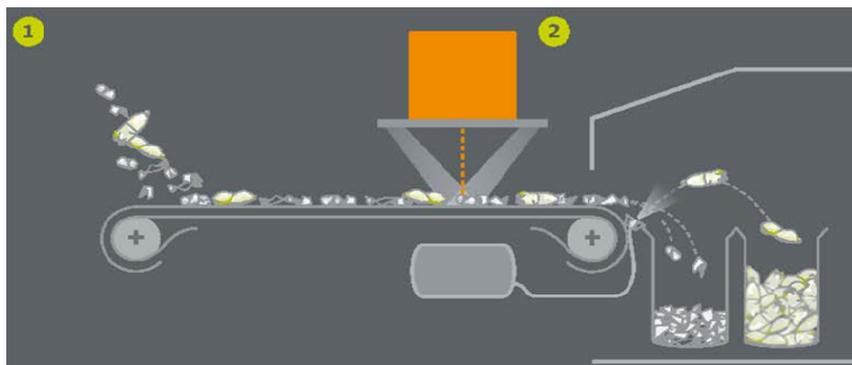


Рис. 3. Принципиальная схема оптической сортировки: 1 – подача несортированного материала; 2 – сканирование и обработка; 3 – область сортировки

Технология позволяет определять материал компонентов ТБО с помощью сравнения спектральной характеристики отраженного от поверхности распознаваемого материала светового сигнала с информацией, содержащейся в базе данных системы. Поверхность конвейера с расположенными на ней отходами облучается светом, источником которого являются галогеновые лампы. При этом специфический отраженный сигнал поступает на два датчика: VIS и NIR. Датчик VIS настроен на свет видимого спектра и обеспечивает распознавание цвета облучаемого материала, датчик NIR реагирует на свет с длиной волны, соответствующей инфракрасному диапазону (ближе к видимому), и определяет сам материал. Сравнивая сигналы от датчиков с базой данных, система распознает цвет и сам материал. Сортировка производится в соответствии с активированной программой (заданием). Если заданием определяется выделять конкретный компонент, то при совпадении спектров на блок пневмоклапанов поступает управляющий сигнал, и в момент прохождения распознанного элемента над соответствующими клапанами они открываются, и элемент потоком воздуха отдувается из общего потока. Остальные элементы продолжают движение дальше по технологической цепочке.

Чистота сортировки в данном случае зависит не только от качественного определения материала, но и от точности приложения силы сжатого воздуха. При использовании технологии ТИТЕСН чистота сортировки обеспечивается высокой плотностью сканирования поверхности конвейера с отходами (320 000 точек в секунду). Такая плотность позволяет определять с высокой точностью отсканированную площадь поверхности объекта. Пневмоклапаны остаются открытыми на протяжении всего периода времени, когда объект проходит над ними. Оборудование способно выделять до 93 % каждого компонента (для сравнения, вручную возможно выделить не более 20 % компонента отдельного вида). Оборудование различает до 1400 компонентов: по виду, цвету и химическому составу. Технология эффективна как при «положительной», так и при «отрицательной» сортировке [2].

Важно, что эта технология в отличие от ручной позволяет выделять из потока отходов мелкие объекты размером до 15 мм, что значительно увеличивает производительность при получении топлива.

Внедрение этой технологии в России затруднено. Практика свидетельствует о том, что отечественные компоненты ТБО обладают несколько иными спектральными характеристиками, чем их зарубежные аналоги. Поэтому данные, предоставляемые немецкими производителями, для российских отходов зачастую становятся неактуальными. Кроме того, номенклатура материалов, содержащихся в ТБО и обладающих высокой теплотворной способностью, постоянно растет. Особенно это касается полимеров. Полимерные материалы усложняются по химическому составу и исполнению (например, применение многослойных конструкций в упаковке для обеспечения более длительного хранения продуктов питания). Для таких материалов, появляющихся в потоке ТБО, неизвестны их спектральные характеристики, и поэтому не распознаются.

**Комплекс оборудования глубокой оптико-механической сортировки потоков отходов и материалов.** На кафедре ООС Пермского национального исследовательского политехнического университета был создан опытно-промышленный комплекс глубокой оптико-механической сортировки потоков отходов и материалов. В его состав вошло оборудование ведущих европейских компаний, специализирующихся на сортировке материалов (частности ТБО), таких как STADLER и TOMRA, также известной как TITECH. Компонентная схема комплекса представлена на рис. 4.

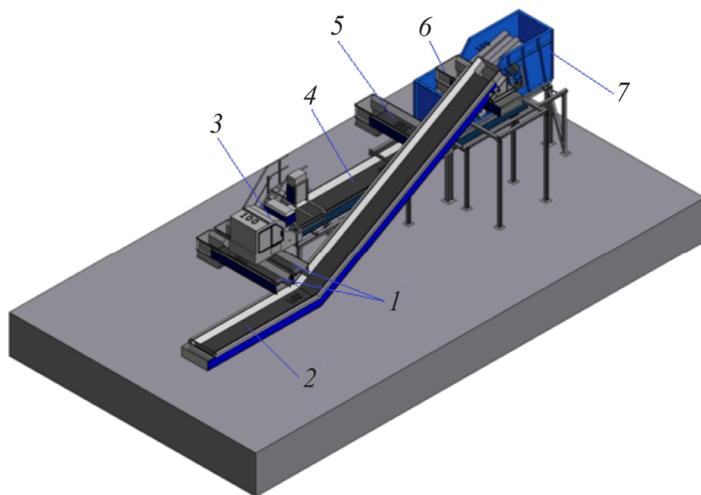


Рис. 4. Компонентная схема оборудования исследовательского центра

Исследуемый материал подающим конвейером 2 (см. рис. 4) через перегружающий транспортер 6 поступает в баллистический сепаратор 7. Основной функцией сепаратора является разделение входящего материала на 3 потока (рис. 5): плоская фракция (бумага, картон, полимерная пленка), объемная (ПЭТ бутылка, полимерные канистры) и отсев, состоящий из компонентов с геометрическими размерами менее 20 мм). Комплекс оснащен двумя поперечными конвейерами 5. Их использование дает возможность удалять плоскую и объемную фракции с линии. Перемещение поперечного конвейера из соответствующей ему зоны выгрузки сепаратора позволяет подавать тот или иной поток материала на ускоряющий транспортер 4. При этом отсев всегда попадает на ленту транспортера 4. Баллистический сепаратор также решает другую важную задачу – разрыхляет отходы и равномерно их распределяет по поверхности конвейера. Это необходимо для того, чтобы компоненты не перекрывались друг другом, и пневмосистема отделяла именно то, что распознает сканер 3. Реверсивные транспортеры 1, на которые попадают «отстрелянные» системой компоненты, а также «хвосты» сортировки в цикл, могут выводить их из технологической цепочки для дальнейших исследований. Оптическое оборудование, сортируя отходы, способно вести процентную статистику отсортированных компонентов, в конечном результате представляя ее на графиках и диаграммах [3].

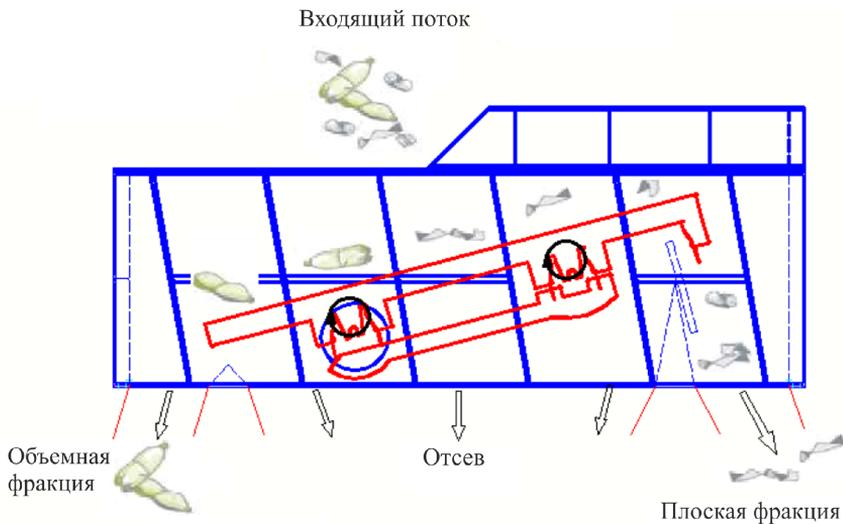


Рис. 5. Схема работы баллистического сепаратора

Одной из основных задач комплекса является обработка технологии получения RDF. Краткое описание данного процесса состоит в следующем. Перед загрузкой отходов на ленту осуществляется предварительная ручная сортировка с выделением органических отходов и стекла. Органические отходы чаще всего являются влажными, а стеклянные отходы могут разбиться при прохождении баллистического сепаратора, поэтому их необходимо отделить заранее. Также необходимо выделить металлы: либо при помощи магнитного сепаратора, либо также вручную, так как при падении на разгонный конвейер тяжелые металлические предметы могут его повредить. Крупногабаритные отходы (например, большие картонные коробки, пленки) необходимо предварительно измельчить в дробилке, чтобы не допускать затора на ленте.

Если компоненты вторичного сырья не отбираются, то процесс протекает в одну стадию – выделяемыми компонентами служат фракции, которые обладают энергетическим потенциалом. Таким образом, целевая фракция содержит все компоненты RDF. При сортировке компонентов RDF необходимо подавлять опасные материалы, такие как ПВХ. Функция подавления помогает исключить его попадание в целевую фракцию, даже если используется в комбинации с другим материалом. После этого отобранные материалы подвергаются измельчению при помощи дробилки, имеющейся на сортировочном комплексе.

Упрощенная схема процесса получения RDF при помощи комплекса оптико-механической сортировки отходов представлена на рис. 6.

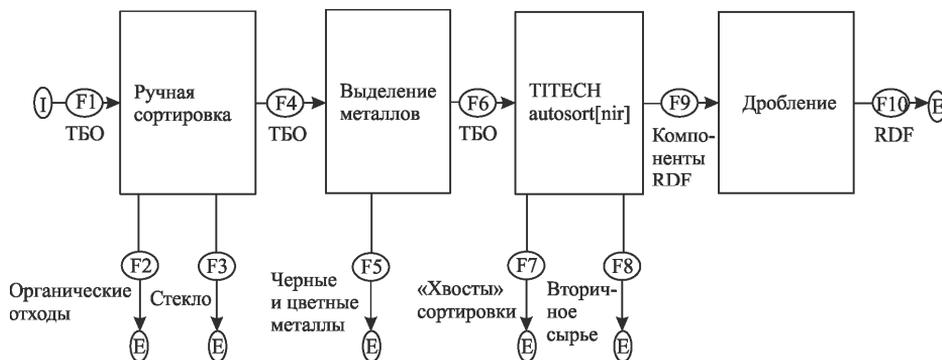


Рис. 6. Схема производства вторичного топлива из отходов при помощи комплекса оптико-механической сортировки

**Выводы.** Главными преимуществами применения автоматической сортировки для получения RDF является то, что при помощи этого можно получать топливо заданного состава, а также полностью исключать попадание экологически опасных компонентов, таких как ПВХ. К недостаткам относится необходимость предварительной сортировки ТБО с выделением инертных материалов.

Использование опытно-промышленного комплекса глубокой оптико-механической сортировки позволило получить RDF с заданными свойствами, произвести опытную партию топлива для дальнейшего исследования их свойств и получить исходные данные для разработки технологии RDF.

*Настоящая работа выполнена в рамках реализации соглашений о предоставлении и целевом использовании субсидии для реализации научных проектов международными исследовательскими группами ученых на базе государственных образовательных учреждений Пермского края.*

### Библиографический список

1. Ильиных Г.В., Коротаев В.Н., Слюсарь Н.Н. Современные методические подходы к анализу морфологического состава ТБО с целью использования их ресурсного потенциала // Экология и промышленность России. – 2012. – № 7. – С. 40–45.
2. Хюскенс Ю., Клуттиг М. Автоматическая сортировка мусора // Инновации в теории и практике обращения с отходами: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2009. – С. 56–63.
3. Слюсарь Н.Н., Борисов Д.Л., Григорьев В.Н. Разработка комплексной технологической схемы сортировки твердых бытовых отходов // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Урбанистика. – 2011. – № 3. – С. 75–82.

### References

1. Ilinykh G.V., Korotaev V.N., Sljusar N.N. Sovremennye metodicheskie podkhody k analizu morfologicheskogo sostava TBO s tselju otsenki ikh resursnogo potentsiala [Modern methodological approaches to the analysis of the morphological composition of solid waste in order to use their resource potential]. *Jekologija i promyshlennost Rossii*, 2012, no. 7, pp. 40–45.
2. Hjuskenes Ju., Kluttig M. Avtomaticheskaja sortirovka musora. *Materialy mezhd. nauch.-prakt. konf. «Innovatsii v teorii i praktike obrashhenija s otkhodami»*. Perm, 2009, pp. 56–63.
3. Sljusar N.N., Borisov D.L., Grigorev V.N. Razrabotka kompleksnoj tehnologicheskoy skhemy sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Development of an integrated process scheme of municipal solid waste sorting]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*. 2011, no. 3, pp. 75–82.

Получено 10.09.2013

**Y. Vaisman, V. Korotaev, D. Borisov, Y. Bazileva**

**PROSPECTS FOR USING OF THE RESEARCHING CENTRE  
FOR OPTICAL-MECHANICAL SORTING OF WASTE  
FOR RECOVERY THE ENERGY POTENTIAL OF MSW**

The main aspects of the recovery of the municipal solid waste energy potential as a secondary fuel RDF using the equipment of the complex optical-mechanical sorting of waste created at the Department of Environmental Protection Perm National Research Polytechnic University.

**Keywords:** resource potential, municipal solid waste, recycled materials, manual sorting, automatic sorting.

***Вайсман Яков Иосифович** (Пермь, Россия) – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).*

***Коротаев Владимир Николаевич** (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», проректор по науке и инновациям, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: korotaev@pstu.ru).*

***Борисов Дмитрий Леонидович** (Пермь, Россия) – ст. преподаватель кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: d-borisov@mail.ru)*

***Базылева Яна Вадимовна** (Пермь, Россия) – студент гр. ОО-09М, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: yanochka\_92@list.ru).*

***Vaisman Yakov** (Perm, Russia) – Doctor of medical sciences, Professor, Head of the Department "Environmental protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: eco@pstu.ru).*

***Korotaev Vladimir** (Perm, Russia) – Doctor of technical sciences, Vice-rector for science and innovations, Professor Department of the "Environmental protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: korotaev@pstu.ru).*

***Borisov Dmitry** (Perm, Russia) – Senior Lecturer, Department "Automobiles and technological machines", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: d-borisov@mail.ru).*

***Bazyleva Yana** (Perm, Russia) – Student of Department "Environmental protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: yanochka\_92@list.ru).*