

**К. Вюнш**

Технический университет города Дрезден, Германия

**Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, Д.Л. Борисов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ГЛУБОКОЙ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ПОТОКОВ ОТХОДОВ И МАТЕРИАЛОВ**

Оценка и дальнейшая реализация ресурсного потенциала твердых бытовых отходов возможна лишь при выделении полезных компонентов, содержащихся в них. Для этих целей на территории РФ наиболее широко применяется ручная сортировка. Технология автоматической сортировки с применением оптического распознавания сортируемого материала только начинает завоевывать отечественный рынок. Техническое преимущество автоматической сортировки над ручной очевидно и выражается в более высокой производительности и чистоте конечного продукта. Распространение таких систем в России тормозится как экономическими аспектами (относительно высокие капитальные вложения), так и некоторыми техническими вопросами. Остановимся на последних. Во-первых, это несоответствие спектральных характеристик (на их основе производится идентификация) российских материалов их зарубежным аналогам. Это обуславливает невозможность распознавания отечественных материалов оптическими датчиками. Во-вторых, это отсутствие опыта применения в российских условиях, т.е. нет отработанной технологии сортировки смешанного входящего потока ТБО, характерного для России, так как в Европе преобладает раздельный сбор отходов. Все это определяет необходимость проведения исследований по данным направлениям. Для этих целей на базе Пермского национального исследовательского политехнического университета создан исследовательский комплекс глубокой оптико-механической сортировки потоков отходов и материалов, включающий NIR и VIS технологии TITECH.

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

**Ch. Wünsch**

Technical University of Dresden, Germany

**Ya.I. Vaisman, V.N. Korotaev, D.L. Borisov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

## **MAIN RESEARCH AREAS USING OF COMPLEX FOR OPTICAL-MECHANICAL SORTING OF WASTE AND MATERIALS**

Evaluation and further implementation of the municipal solid waste resource potential is only possible in the allocation of useful components. Manual sorting is the most widely used for these purposes in Russia. Technology for automatic sorting is just beginning to conquer the domestic market.

Technical advantage of the automatic sorting is obvious. It's expressed in higher productivity and final product purity. Some economic aspects (relatively high capital investment) and technical features inhibit the spread of such systems in Russia. If to speak about the past, first is the discrepancy of the Russian material spectral characteristics to their foreign counterparts. This makes it impossible to recognize domestic materials by optical sensors. Second is the lack of the automatic sorting application in the Russian conditions. If one takes into account that Europe has separate waste collection, mix MSW flow sorting technology, specific for Russia, is not well developed. To solve all these questions Perm National Research Polytechnic University has created the researching centre for optical-mechanical sorting of waste and materials. The centre is based on using of equipment with NIR and VIS technologies, produced by "TITECH" company.

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

## **Введение**

Процесс сортировки в реализации огромного числа технологий оказывает сильнейшее влияние на качество конечного продукта. Сортировка может вводиться на различных стадиях производства, начиная с получения исходного сырья и заканчивая контролем качества на выходе. Как известно, основной целью сортировки является разделение потока материалов на две или более фракции в соответствии с определенными требованиями, предъявляемыми к свойствам выделяемой фракции. Требования могут предъявляться в плане безопасности для здоровья (безопасное и вредное), химических свойств, геометрических, прочностных, весовых параметров и т.д.

Что касается системы обращения с твердыми бытовыми отходами, то в данном случае процесс сортировки имеет важнейшее значение, поскольку благодаря введению его в технологию обращения можно выделить компоненты ТБО, обладающие определенной ценностью в ресурсном плане. Экологические проблемы, связанные с захоронением отходов и последующей за этим эмиссией вредных веществ в окружающую среду, также являются актуальными. Максимально эффективная сортировка ТБО с выделением всех полезных компонентов позволяет снизить эти эмиссии, а также площадь заделываемых под полигоны территорий.

### **Оптико-механическая сортировка как альтернатива ручной**

Твердые бытовые отходы обладают определенным ресурсным потенциалом, который состоит из потенциала вторичного сырья, энергетического и биологического потенциалов [1]. Стандартная процедура получения информации о величине потенциалов потока отходов включает в себя исследования морфологического состава данного потока.

Очевидно, что от результатов такого анализа зависит направление дальнейшего использования отходов.

Реализация потенциала вторичного сырья заключается в выделении из ТБО полезных компонентов, таких как черные и цветные металлы, полимеры, стекло, бумага, картон. С помощью различных технологий рециклинга (повторного использования) эти компоненты перерабатываются в исходное сырье для получения конечного продукта либо в сам конечный продукт.

В ТБО содержатся компоненты с относительно высокой теплотворной способностью (бумага, картон, дерево, пластики). Их извлечение и последующее использование в качестве топлива позволило бы реализовать энергетический потенциал отходов. Это направление развития системы обращения с отходами совершенно не освоено в России, а следовательно, высокоперспективно. Использование сортировки при получении вторичного топлива (RDF) обязательно, поскольку кроме высококалорийных фракций в ТБО содержатся компоненты, применение которых в технологии RDF снижает теплотворную способность или просто опасно для окружающей среды (стекло, металлы, хлорсодержащие полимеры, органика, компоненты с высоким содержанием влаги). Область применения данного вида топлива разнообразна: цементная промышленность, городские и районные котельные, печи, камины, бойлеры в коттеджных поселках, обогрев производственных помещений.

В России получила широкое распространение технология ручной сортировки ТБО, эффективность которой определяется сугубо человеческим фактором. В данном случае под эффективностью подразумевается производительность и чистота сортировки, которые напрямую зависят от мастерства сортировщиков, их утомленности в течение смены и т.д. При этом, с учетом того, что одним из определяющих критериев качественного топлива является отсутствие в нем опасных компонентов, таких как ПВХ, распознать который визуальным способом в потоке отходов крайне проблематично, получение RDF с помощью данной технологии возможно только теоретически. Ко всему прочему человек не в силах выделить из потока объект с геометрическими размерами менее 50 мм, что обеспечивает потерю большого процента по массе конечного продукта, как в случае получения топлива, так и при выделении вторичного сырья. Современный метод проведения морфологического анализа также подразумевает ручной разбор опре-

деленной пробы отходов на требуемое количество фракций. Все вышечисленные недостатки ручной сортировки, конечно же, справедливы и для исследования морфологического состава, что ведет к снижению точности результатов.

Технологии сортировки за рубежом давно перешли с применения ручного труда на автоматизированные и полностью автоматические системы сортировки. Тогда как в России такие системы только выходят на рынок. Одним их представителей фирм-производителей автоматических оптических сортировочных линий является фирма TOMRA, бывшая ПИТЕСН (Германия). Принципиальная схема работы оборудования представлена на рис. 1.



Рис. 1. Принципиальная схема оптической сортировки

Технология основана на определении материала компонентов ТБО путем спектрального анализа отраженного от поверхности распознаваемого материала светового сигнала. Облучение поверхности отходов производится светом обычных галогеновых ламп. При этом специфический отраженный сигнал воспринимается двумя датчиками: датчиком VIS и датчиком 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 спектр отраженного от поверхности отхода сигнала с заложенной в базу данных информацией, машина производит распознавание материала. Сортировка же происходит в соответствии с акти-

вированной программой (заданием). При совпадении спектров на блок пневмоклапанов подается управляющий сигнал, и в момент прохождения элемента ТБО над соответствующим клапаном он открывается, поток воздуха «отстреливает» элемент, выделяя его, таким образом, из общего потока отходов. «Неотстреленные» элементы идут дальше по технологической цепочке.

Чистота сортировки в данном случае зависит не только от качественного определения материала, но и от точности приложения силы сжатого воздуха. В случае технологии TITESH чистота сортировки обеспечивается высокой плотностью сканирования поверхности конвейера с отходами (320 000 точек в секунду). Такая плотность позволяет с высокой точностью определять отсканированную площадь поверхности объекта. Дюзы остаются открытыми на протяжении всего периода времени, когда объект проходит над блоком пневмоклапанов. Таким образом, 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. Сравнение технической производительности ручной и автоматической сортировки представлено в таблице [2].

### **Сравнение технической производительности ручной и автоматической сортировок**

| Материал    | Машина,<br>кг/ч | Сортировщик,<br>кг/ч | Количество рабочих<br>для замены<br>одной машины |
|-------------|-----------------|----------------------|--|
| Пленки      | 4000            | 70                   | 57   |
| Бумага      | 11 000          | 180                  | 61   |
| Стекло      | 12 000          | 400                  | 30   |
| ПЭТ-бутылки | 7000            | 120                  | 58   |
| ПП          | 3000            | 120                  | 25   |
| ПЭВД        | 3000            | 140                  | 21   |

Как уже отмечалось выше, в Российской Федерации такие системы еще не нашли широкого применения, поэтому не существует отработанной технологии сортировки отходов, которая бы учитывала отечественную специфику, заключающуюся прежде всего в характере потока муниципальных отходов – он смешанный, тогда как в Европе

отходы собираются отдельно. Смешанный поток характеризуется высокой влажностью, обусловленной наличием большого количества органических компонентов и, как следствие, слипанием их между собой [3]. Это сильно затрудняет распознавание и дальнейшее пневматическое разделение.

Кроме того, как показывает практика, отечественные материалы обладают несколько иными спектральными характеристиками, чем их зарубежные аналоги. Поэтому широчайшая база данных, накопленная многолетним опытом немецких производителей, для российских материалов зачастую становится совершенно бесполезной. К тому же номенклатура материалов, попадающих в ТБО, постоянно растет и обновляется, особенно это касается полимеров, которые находят применение абсолютно во всех областях деятельности человека (водопроводные полимерные трубы, упаковка, автомобильный пластик и т.д.). Полимерные материалы усложняются по химическому составу и исполнению (например, применение многослойных конструкций в упаковке для обеспечения более длительного хранения продуктов питания) [4]. Новые материалы, появляющиеся в потоке ТБО, вовсе не имеют спектральных характеристик, и поэтому не распознаются. Все это сильно затрудняет, а порой делает невозможным распознавание материала.

Исходя из всего вышесказанного, отметим, что применение таких систем в России требует ввести в технологию сортировки подготовку потока отходов, а также постоянное обучение и обновление базы данных.

### **Комплекс оборудования глубокой оптико-механической сортировки потоков отходов и материалов**

В рамках решения вышеупомянутых проблем кафедрой «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета был создан 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. Компоновочная схема комплекса представлена на рис. 2.

Исследуемый материал подающим конвейером 1 (рис. 2) через перегружающий транспортер 2 поступает в баллистический сепаратор 3. Основной функцией сепаратора является разделение входящего материала на три потока: плоская фракция (бумага, картон, полимерная пленка),

объемная (ПЭТ-бутылка, полимерные канистры) и отсева, состоящий из компонентов с геометрическими размерами менее 20 мм. Схема работы баллистического сепаратора представлена на рис. 3. Комплекс оснащен двумя поперечными конвейерами 6. 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 распределяет их по поверхности конвейера. Это необходимо для того, чтобы компоненты не перекрывались друг другом и пневмосистема отделяла именно то, что распознает сканер 5. Реверсивные транспортеры 7, на которые попадают «отстрелянные» системой компоненты, а также «хвосты» сортировки, могут замыкаться в цикл, а могут выводиться 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.

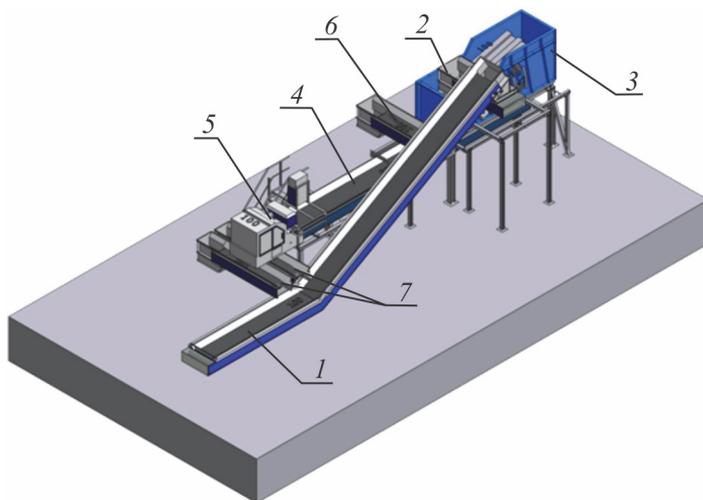


Рис. 2. Компоновочная схема оборудования исследовательского центра

Исследования позволят привести в соответствие европейскую базу данных спектров компонентов с российскими условиями. Исследование морфологии отходов с помощью данной системы позволит значительно увеличить объем пробы, а также улучшить распознавание компонентов, что приведет к повышению точности результатов анализа.

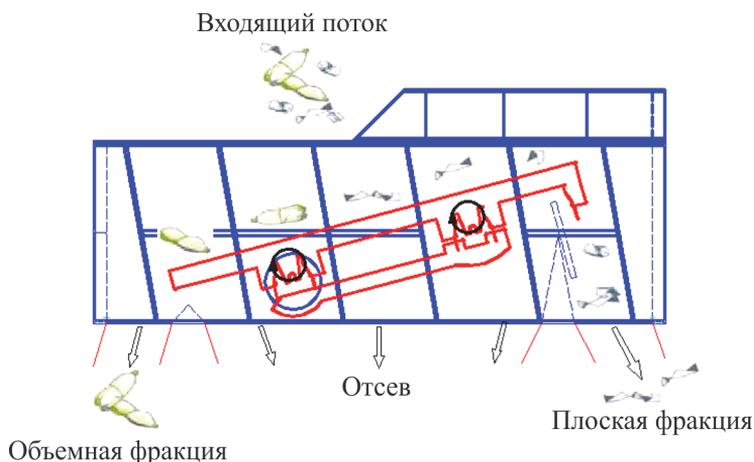


Рис. 3. Схема работы баллистического сепаратора

Таким образом, комплекс имеет возможность сортировать отходы исходя из широкого спектра направлений исследования:

- определение морфологического состава;
- определение фракционного состава;
- определение ресурсных потенциалов;
- отработка технологий сортировки.

### Выводы

Использование комплекса глубокой оптико-механической сортировки позволит отработать технологию оптической сортировки в российских условиях, что значительно облегчит применение таких систем в России. Использование комплекса также и для исследований морфологического состава бытовых отходов позволит адаптировать оборудование для сортировки отечественных материалов, установить намного более точное содержание компонентов в любых бытовых отходах, что способствует подбору оптимального варианта для их дальнейшей переработки и максимального использования всех их свойств.

*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.*

## Список литературы

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: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009.
3. Ильиных Г.В., Устьянцев Е.А., Вайсман Я.И. Построение материального баланса линии ручной сортировки твердых бытовых отходов // *Экология и промышленность России*. – 2013. – № 1. – С. 22–25.
4. Слюсарь Н.Н., Борисов Д.Л., Григорьев В.Н. Разработка комплексной технологической схемы сортировки твердых бытовых отходов // *Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика*. – 2011. – № 3. – С. 75–82.

## References

1. Il'nykh G.V., Korotaev V.N., Slusar' N.N. Sovremennyye metodicheskie podkhody k analizu morfologicheskogo sostava TBO s tsel'u otsenki ikh resursnogo potentsiala [Modern methodological approaches to the analysis of the morphological composition of MSW in order to assess their resource potential]. *Jekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2012, no. 7, pp. 40–45.
2. Huskens Yu., Klutting M. Avtomaticheskaya sortirovka musora [Automatic sorting of garbage]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii "Innovatsii v teorii i praktike obrashcheniya s otkhodami"*. Perm: Permsky gosydarstvenny tekhnicheskyy universitet, 2009.
3. Il'nykh G.V., Ust'yantsev E.A., Vajsman Ya.I. Postroenie material'nogo balansa linii ruchnoy sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Formation material balance line manual sorting of municipal solid waste]. *Jekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2013, no.1, pp. 22–25.
4. Slusar' N.N., Borisov D.L., Grigor'ev V.N. Razrabotka kompleksnoy tekhnologicheskoy skhemy sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Development of an integrated flowsheet sorting of municipal solid waste]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 3, pp. 75–82.

Получено 11.10.2013

## Об авторах

**Вюнш Кристоф** (Дрезден, Германия) – доктор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой управления отходами Технического университета города Дрезден (01796, г. Пирна, ул. Працшвицер, 15, e-mail: Christoph.Wuensch@tu-dresden.de).

**Вайсман Яков Иосифович** (Пермь, Россия) – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой охраны окружающей среды Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).

**Коротаев Владимир Николаевич** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: korotaev@pstu.ru).

**Борисов Дмитрий Леонидович** (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: d-borisov@pstu.ru).

## About the authors

**Wünsch Christoph** (Dresden, Germany) – Doctor-Ing., Temporary Head of Department of Waste Management, Technical University of Dresden (15, Pratzschwitzer st., Pirna, 01796, Germany, e-mail: Christoph.Wuensch@tu-dresden.de).

**Vaisman Yakov Iosifovich** (Perm, Russia) – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department for Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: eco@pstu.ru).

**Korotaev Vladimir Nikolaevich** (Perm, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Science and Innovations, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: korotaev@pstu.ru).

**Borisov Dmitry Leonidovich** (Perm, Russia) – Senior Lecturer, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: d-borisov@pstu.ru).