

УПРАВЛЕНИЕ БЫТОВЫМИ И ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ

УДК 504.064.47

Г.В. Ильиних

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ПРОЦЕНТ ОТБОРА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПРИ СОРТИРОВКЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ: РАСЧЕТНЫЙ И ФАКТИЧЕСКИЙ

Анализируется понятие ресурсного потенциала твердых бытовых отходов, которое широко используется при обосновании эффективности сортировки, но на практике трактуется и оценивается по-разному. Показано, что грубые расчеты ресурсного потенциала и возможного процента отбора вторичного сырья при сортировке отходов на основании укрупненных показателей состава ТБО зачастую приводят к существенному завышению этого показателя и переоценке возможного дохода мусороперерабатывающей линии, что при реализации процесса приводит к его убыточности. Доказано, что глубокий анализ данных позволяет получить максимально приближенные к реальности цифры и учесть возможные риски.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, ТБО, ресурсный потенциал, морфологический состав, процент отбора.

Урбанизация включает в себя множество аспектов развития городской среды, в том числе и обеспечение благоприятных условий жизни населения в условиях его высокой плотности. Своевременное удаление отходов и их дальнейшая утилизация – один из ключевых вопросов поддержания чистоты и санитарного состояния населенных пунктов. Сбор, транспортировка, использование и обезвреживание твердых бытовых отходов (ТБО) с соблюдением нормативных требований в этом отношении наиболее актуальны – ежегодно каждый житель образует от 200 до 800 кг таких отходов, и эта цифра постоянно увеличивается [1, 2]. С точ-

ки зрения современного уровня развития науки и технологий в сфере обращения с ТБО, эти отходы представляют собой ценный источник вторичных ресурсов, основным препятствием к использованию которого является необходимость разделения этой крайне гетерогенной смеси на более однородные потоки.

Сортировка отходов, их разделение по компонентам, как правило, ориентирована в первую очередь на выделение наиболее востребованных видов вторичного сырья [3]. Промышленная сортировка ТБО, реализуемая с использованием специализированного оборудования – мусоросортировочных линий, позволяет обрабатывать значительные объемы отходов и извлекать ощутимые объемы вторичных ресурсов.

Общая укрупненная схема сортировки представлена на рис. 1.

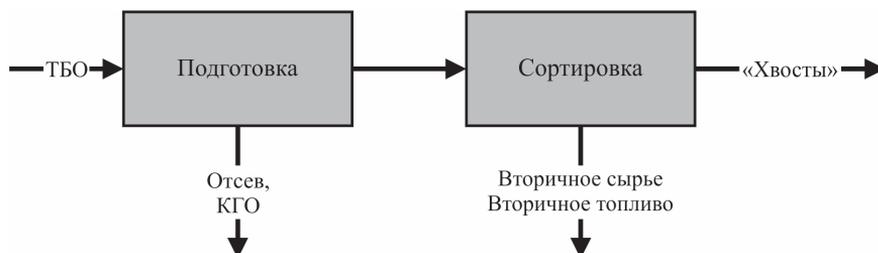


Рис. 1. Общая схема сортировки ТБО

Необязательность сортировки отходов и возможность захоронения необработанных отходов в соответствии с требованиями действующего законодательства обуславливают тот факт, что в настоящее время сортировка ТБО должна не только решать экологические проблемы (снижать объем захораниваемых отходов и ущерб окружающей среде), но и быть экономически эффективной. Для большинства организаций, планирующих внедрять сортировку ТБО, это означает, что мусоросортировочная линия должна как минимум окупаться, а в идеале – приносить прибыль. Такая задача обычно ставится при технико-экономическом обосновании и выборе оборудования промышленной сортировки и является основным критерием положительного решения о реализации технологии.

Эффективность сортировки как процесса, направленного, прежде всего, на извлечение и реализацию вторичного сырья, во многом зависит от качества сортируемого потока отходов, для ха-

рактеристики которого используется понятие ресурсного потенциала. Ресурсный потенциал твердых бытовых отходов обычно определяется как отношение суммарной массы компонентов ТБО, представляющих ценность как вторичное сырье, к общей массе отходов. При этом перечень компонентов, считающихся вторичным сырьем, может быть принципиально разным. В самом общем случае к потенциально ценным компонентам относят совокупность металлов, стекла, полимеров и макулатуры, иногда в этот перечень также включается текстиль.

Ресурсный потенциал при такой оценке обычно значительный и составляет 40–60 % от массы всех отходов [4, 5]. Однако в действительности, когда речь заходит об извлечении и использовании этого потенциала, такие оценки обычно оказываются существенно завышенными. Ошибка кроется в самом понимании укрупненных категорий, выделяемых в составе ТБО, как вторичных ресурсов. Например, когда речь идет о составе ТБО, к макулатуре обычно относят все виды изделий из бумаги и картона, в том числе гигиеническую бумагу, обрывки и обрезки, куски и предметы, загрязненные маслами, которые не перерабатываются. Кроме того, спрос на рынке вторичного сырья на те или иные компоненты не остается постоянным, и зачастую в конкретном регионе или населенном пункте устойчивым спросом пользуется только один вид вторичного сырья из всей категории. Так, из всей категории «макулатура» на территории Пермского края на протяжении последних лет стабильно востребован только гофрокартон (рис. 2).

В итоге, используя понятие ресурсного потенциала, необходимо четко понимать, о чем идет речь: о содержании потенциально ценных категорий или о содержании фактически реализуемых на данной территории в данный момент видов вторичного сырья. Ресурсный потенциал отходов, кроме того, дает понимание только теоретически возможного выхода вторичного сырья, который на практике всегда ниже – промышленная сортировка отходов предполагает обработку больших объемов отходов с достаточно большой скоростью, поэтому извлекается вторичного сырья всегда меньше, чем его содержится в отходах. Возможный процент отбора вторичного сырья является комплексным показателем, который характе-

ризует одновременно и качество сортируемого потока отходов, его потенциал, и эффективность самой сортировки, обусловленную производительностью и техническими характеристиками оборудования и особенностями его эксплуатации.

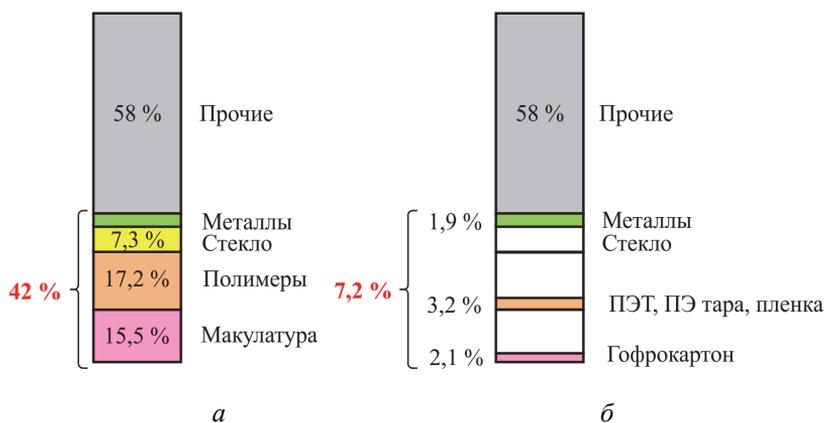


Рис. 2. Ресурсный потенциал твердых бытовых отходов (на основании данных о составе ТБО г. Пермь, лето 2014 г.): *а* – содержание потенциально ценных компонентов; *б* – содержание фактически реализуемых видов вторичного сырья

Процент отбора вторичного сырья определяется как совокупная доля различных видов вторичного сырья, извлекаемых в процессе сортировки и реализуемых для дальнейшей переработки, выраженной в процентах от массы исходных ТБО. Доходная часть процесса сортировки так или иначе связана с именно с этим показателем. Типичная оценка возможного дохода от продажи вторичного сырья в рамках технико-экономического обоснования базируется на расчетах массы отдельных видов извлекаемого вторичного сырья за определенный промежуток времени и цен на них. Для удобства эта величина иногда пересчитывается на единицу массы исходных отходов (таблица).

Кроме того, к доходу в результате сортировки ТБО обычно относят также возможную экономию от незахоронения отходов – чем больше вторичного сырья извлекается, тем меньше масса отходов, подлежащих захоронению. Принимая отходы на сортировку по стоимости захоронения их на полигоне, по факту мусоросортировочное предприятие отправляет на захоронение меньшее количество отходов, соответственно оплачивая меньшую сумму.

Пример расчета дохода от сортировки ТБО

Компонент	Цены вторичного сырья, руб./т	Доля отбора, % от массы ТБО	Доход, руб./т ТБО
Стекло	1500	10,0	150
Гофрокартон	6100	2,0	122
Бумага «микс»	6100	3,0	183
ПЭВД	8000	1,5	120
ПЭНД	8000	1,5	120
ПЭТ	19000	2,0	380
ПЭ тара	25000	1,0	250
Металл цветной	38000	1,0	380
Металл черный	5500	1,0	55
Итого			1760

При этом процент отбора вторичного сырья, как в унифицированном виде, так и с детализацией по основным видам вторичного сырья, зачастую оценивается очень грубо. В отсутствие достоверных данных о морфологическом составе ТБО, которые планируется сортировать, процент отбора отдельных видов вторичного сырья устанавливается экспертно или по данным уже работающих сортировочных линий в других населенных пунктах. Сам процент отбора конкретного вида вторичного сырья при этом никак не связан с реальным его содержанием. В частности, возможна ситуация, при которой реальное содержание компонента ниже, чем заданный процент отбора, что в реальности в принципе невозможно – процент отбора того или иного вида вторичного сырья всегда ниже его содержания в отходах, что связано с определенными погрешностями в сортировке. В итоге расчетные значения процента отбора вторичного сырья могут существенно отличаться от фактических, как правило, в большую сторону. Следовательно, расчетный доход от сортировки отходов может оказаться существенно завышен, а фактический доход не покроет капитальных и эксплуатационных затрат и предприятие окажется убыточным.

Более точными являются расчеты, в которых процент отбора вторичного сырья зависит от морфологического состава ТБО, данные о котором в свою очередь получены в ходе выполнения натурных исследований с соблюдением всех требований по обеспечению их статистической достоверности. Кроме того, значение

имеет детальность выполненного анализа состава ТБО, в частности перечень выделяемых компонентов. Более подробные исследования состава ТБО по полному перечню компонентов связаны с дополнительными трудовыми и временными затратами, грубо говоря, чем больше отдельных компонентов идентифицируется, тем кропотливее становится процедура разделения отходов. Зачастую исследования состава ТБО выполняются только по сокращенному перечню с выделением основных категорий компонентов: органические отходы, макулатура, полимеры, стекло, металлы, текстиль, дерево, комбинированные материалы, опасные материалы, инертные материалы, прочее и отсев [5]. Процент отбора отдельных видов вторичного сырья в этом случае задается в долях от отдельных категорий, например, доля отбора гофрокартона составляет 20 % от содержания макулатуры в отходах (см. рис. 2).

Наиболее достоверной является оценка, при которой процент отбора отдельных видов вторичного сырья задан как доля от содержания именно этого вида вторичного сырья в ТБО, а не от содержания более обобщенной группы (категории или подкатегории) компонентов состава ТБО. Например, такой вид вторичного сырья, как гофрированный картон (по ГОСТ 10700–97, макулатура марки МС-5Б – отходы производства и потребления гофрированного картона и бумаги), является достаточно востребованным, но обычно составляет относительно небольшую часть всей категории «макулатура» и подкатегории «картон», в которую относят также другие виды картона, в том числе белого, цветного или ламинированного (рис. 3).

Доля гофрированного картона в массе всего картона и в массе всей макулатуры не является фиксированной величиной и также должна анализироваться при исследованиях состава ТБО, планируемых к сортировке. То же самое справедливо и для других видов вторичного сырья. Учитывая значимость этих данных для понимания эффективности сортировки ТБО целесообразно выполнять детальные исследования морфологического состава ТБО и включать основные виды вторичного сырья в перечень определяемых компонентов.



Рис. 3. Подходы к оценке процента отбора отдельных видов вторичного сырья

Процент отбора вторичного сырья, определяемый как отношение суммарной массы компонентов ТБО, представляющих ценность как вторичное сырье, к общей массе отходов, можно рассчитать на основании подробных данных о составе ТБО по следующей формуле:

$$P_{\text{извл}} = \sum_{i=1}^m (k_i \cdot C_i), \quad (1)$$

где $P_{\text{извл}}$ – процент отбора вторичного сырья, мас. %; m – общее число извлекаемых компонентов; k_i – коэффициент извлечения i -го компонента; C_i – содержание i -го компонента в сортируемых отходах, мас. %.

Помимо данных о морфологическом составе ТБО, ключевое значение имеют коэффициенты извлечения. Коэффициент извлечения i -го компонента k_i представляет собой долю компонента, которая может быть извлечена в ходе сортировки, не может быть больше единицы (случай, когда компонент извлекается полностью в реальных условиях практически не может быть достигнут) и зависит от нескольких факторов, в том числе:

- от природы компонента (подвержен или нет намоканию, гниению, слеживанию и т.п.);
- от характеристики ТБО (исходная влажность, плотность, фракционный состав и т.п.);

- сезона года и погодных условий (намокание, смерзание и т.п.);
- системы сбора и вывоза отходов (общий или отдельный сбор отходов, степень уплотнения отходов при транспортировке, наличие перегрузки и т.п.).

Коэффициенты извлечения вторичного сырья задаются для каждого компонента по данным аналогичных объектов (мусоросортировочных линий) и при необходимости корректируются с учетом указанных факторов.

Предложенная формула (1) позволяет оценивать процент отбора вторичного сырья с учетом разного уровня детализации исходных данных. Суммарный процент отбора вторичного сырья на мусоросортировочных заводах, перерабатывающих отходы различного морфологического состава, сильно варьируется и составляет от 5 до 40 %.

Подчеркивая значимость адекватной оценки процента отбора вторичного сырья при выполнении технико-экономического обоснования сортировки, следует отметить необходимость выполнения комплексных предварительных исследований. Для расчета процента отбора вторичного сырья при технико-экономическом обосновании сортировки необходимо выполнить следующие ключевые работы:

1) анализ рынка вторичного сырья, в том числе анализ изменения цен на основные виды материалов в динамике за последние несколько лет и составление прогноза их изменения на ближайшее время, определение ключевых потребителей вторичного сырья и оценка логистики их расположения;

2) анализ требований к качеству вторичного сырья у возможных потребителей, в том числе требований по его составу, содержанию примесей, загрязнению, подготовке и упаковке, размеру транспортной партии и способу отгрузки;

3) детальный анализ морфологического состава твердых бытовых отходов с учетом планируемых к отбору видов вторичного сырья.

Анализ рынка вторичного сырья и требований к его качеству позволяет определить основные требования к исследованиям состава ТБО, чтобы на основе полученных результатов можно было

оценить реальные возможности сортировки по извлечению вторичного сырья.

Как уже было сказано выше, процент отбора вторичного сырья зависит и от технологических особенностей самой сортировки: скорости конвейера, его загрузки и т.п. Кроме того, при ручной сортировке ТБО общее число извлекаемых компонентов ограничивается числом постов для отбора вторсырья (на практике используются от 6 до 12), поэтому определяется на этапе проектирования мусоросортировочного завода (МСЗ). Число извлекаемых компонентов выбирают, исходя из производительности МСЗ (как правило, чем выше производительность, тем больше компонентов отбирается) и спроса на отдельные материалы на рынке вторичного сырья. Поэтому оценка эффективности извлечения отдельных видов вторичного сырья должна проводиться параллельно с обоснованием технологической схемы и состава оборудования.

Общий алгоритм технико-экономического обоснования сортировки ТБО в целом и оценки процента отбора вторичного сырья в частности представлен на рис. 4. Схема значительно упрощена в части оценки затратной части, в действительности расчет капитальных и эксплуатационных затрат, а также инвестиционных показателей проекта значительно сложнее. Однако в рамках анализа значения данных о составе сортируемого потока отходов и оценке процента отбора вторичного сырья эти данные не имеют принципиального значения.

С учетом непостоянства рынка вторичного сырья как по ценам на отдельные виды, так и в целом по спросу на них, процент отбора вторичного сырья и возможный доход от его реализации могут существенно меняться. В связи с этим при выполнении технико-экономического обоснования, возможно, следует задавать несколько вариантов развития: оптимистичный – со стабильным высоким спросом на вторичные материалы – и пессимистичный – с минимальными ценами на основные марки вторичного сырья. Это позволит оценить возможные финансовые риски при реализации проекта и более взвешенно принять решение о реализации проекта.

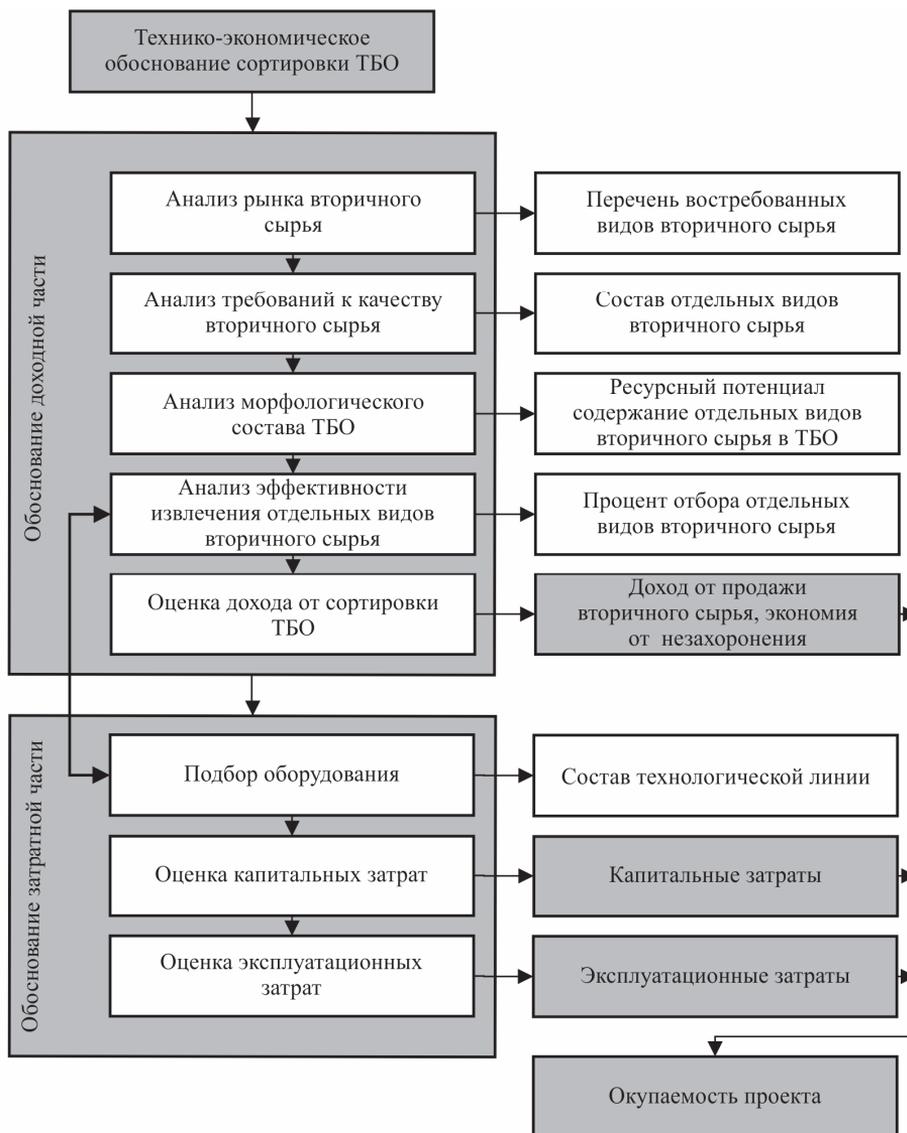


Рис. 4. Алгоритм технико-экономического обоснования сортировки ТБО

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. Global waste figures and forecast / A. Mavropoulos, Al. Mavropoulos, M. Tsakona, I. Koukosia, I. Makris, N. Mavropoulou // ISWA, 2013, available at: www.iswa.org/en/76/publications/ (accessed 26 July 2014).
2. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. Statistical office of the European Union (Eurostat), available at: www.epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc240&plugin=1 (accessed 26 July 2014).
3. Ильиных Г.В. Использование результатов определения морфологического состава твердых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2012. – № 1. – С. 35–42.
4. Ильиных Г.В., Коротаев В.Н., Вайсман Я.И. Оценка потенциала твердых бытовых отходов как альтернативы первичным энергоресурсам // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 7. – С. 18–21.
5. 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.

References

1. Mavropoulos A., Mavropoulos Al., Tsakona M., Koukosia I., Makris I., Mavropoulou N. Global waste figures and forecast. ISWA, 2013, available at: www.iswa.org/en/76/publications/ (accessed 26 July 2014).
2. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. Statistical office of the European Union (Eurostat), available at: www.epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc240&plugin=1 (accessed 26 July 2014).
3. Ilinykh G.V. Ispolzovanie rezultatov opredeleniya morfologicheskogo sostava tverdykh bytovykh otkhodov dlya obosnovaniya sistemy obrashheniya s otkhodami [Using of waste composition analyses results for waste management system evaluation]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 1, pp. 35–42.
4. Ilinykh G.V., Korotaev V.N., Vajsman Ya.I. Otsenka potentsiala tverdykh bytovykh otkhodov kak alternativy pervichnym energoresursam [Municipal solid waste potential estimation as an alternative to energy resources]. *Zashchita okruzhajushchej sredy v neftegazovom komplekse*, 2012, no. 7, pp. 18–21.
5. Ilinykh G.V., Ustyantsev E.A., Vajsman Ya.I. Postroenie materialnogo balansa linii ruchnoj sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Constructing of material balances of municipal solid waste sorting plant]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2013, no. 1, pp. 22–25.

Получено 22.10.2014

G. Ilinykh

RECYCLABLE RECOVERY RATE WHEN HOUSEHOLD WASTE SORTING: ESTIMATED AND REAL

The concept of resource potential is widely used to justify the efficiency of municipal solid waste sorting, but in practice it is interpreted and evaluated differently. Rough estimates of the resource potential and possible part of recyclables when waste sorting on the basis of aggregated indicators of MSW composition often lead to a significant overestimation of the recyclable recovery rate. It is the main reason of possible income overestimation and implementation of such process could lead to operation losses. A deeper analysis of the data allows to get assessment as close to the reality as possible and to consider the possible risks.

Keywords: municipal solid waste, MSW, resource potential, waste composition, recovery rate.

Ильиных Галина Викторовна (Пермь, Россия) – ст. преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: galinka14@yandex.ru).

Ilinykh Galina (Perm, Russian Federation) – Senior lecturer of Department of Environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: galinka14@yandex.ru).