

УДК 504.064.4.03

Н.П. ГОРОХ, начальник отдела

КП КХ «Харьковкоммуночиствод», г. Харьков

Н.В. ВНУКОВА, канд. геогр. наук, доцент, заведующий кафедрой

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ), г. Харьков

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ*

Муниципальные отходы рассматриваются как комплекс взаимосвязанных эколого-экономических проблем, решение которых базируется на совместной реализации мероприятий по санитарной очистке городов, переработке отходов и минимизации объемов их захоронения на полигонах.

Ключевые слова: муниципальные отходы, ТБО, ресурсосбережение, оптимизация, утилизация, техногенное сырье, селективный сбор, сортировка.

Стратегическая линия решения проблемы твердых бытовых отходов (ТБО) – промышленная переработка и утилизация (полигонное захоронение ТБО в странах ЕС планируется в ближайшие годы прекратить). Основной путь решения проблемы ТБО в мировой практике – переход от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке.

В Украине, следует особо отметить, концепции решения проблемы ТБО отсутствуют, что приводит к ситуации, когда при строительстве объектов промышленной обработки и переработки отходов в проекты закладывается случайная, зачастую отсталая и малоэффективная технология. В итоге бюджетные средства в городах используются нерационально – количество ТБО, размещаемых на полигонах, не снижается [1].

Исходя из численности населения и действующих норм образования ТБО (250–300 кг/год на человека) можно предположить, что в жилом секторе городов Украины образуется около 10–12 млн т отходов в год. Принимая во внимание, что доля нежилого сектора городов в образовании ТБО составляет не менее 25 %, общий годовой объем ТБО в Украине может достигать до 14 млн т в год (точное количество ТБО, образующихся ежегодно в Украине, не учитывается). Создание эффективной системы управления таким потоком отходов [2] – актуальная задача.

Для оптимизации дорогостоящей промышленной переработки как конечной технологической операции в общей схеме комплексного управления ТБО необходима подготовка отходов.

Принципы оптимизации системы санитарной очистки украинских городов

Для правильного выбора технической и экономической политики в системе управления муниципальными отходами необходима объективная оценка текущего состояния проблемы ТБО в конкретном регионе, а также анализ недостатков существующих систем.

Например, в Харьковском регионе эти вопросы отражены в «Программе развития системы обращения с твердыми бытовыми отходами г. Харькова» (2003–2013 гг.) и изложены в разделах:

- программное обеспечение;
- временные параметры решения задач;
- организационно-управленческий механизм;
- основные мероприятия и объекты по санитарной уборке, очистке города и переработке муниципальных отходов.

В иерархической структуре процесса управления ТБО приняты следующие соподчиненные уровни:

- предприятие – технологическая схема – процесс – аппарат;
- сбор – транспортировка – сортировка и переработка – реализация продукции – захоронение отходов. Эффективность промышленной переработки и обработки ТБО определяют:
- состав техногенного сырья, зависящий от уровня и уклада жизни и от системы сбора отходов;
- подготовка техногенного сырья к переработке (предварительная сортировка, дробление, усреднение, сушка);

* В работе под руководством Гороха Н.П. принимали участие Е.М. Бузивская, А.С. Маркина, О.Е. Нагорная



- выбранные методы переработки и режимные параметры, определяемые эколого-экономическими требованиями к технологическим процессам, аппаратам, готовой продукции и отходам переработки.

Обеспечение оптимального управления ТБО включает решение трех задач [3]:

- оптимизация системы сбора отходов;
- выбор способа подготовки сырья к переработке и его оптимизация;
- оптимизация работы перерабатывающего комплекса, включая регулирование технологических процессов.

Оптимизация сортировки как технологической операции в схемах сбора и транспортировки ТБО

Эффективность управления любой системой существенно повышается при регулировании входящих в нее потоков.

Схемы управления муниципальными отходами гетерогенного состава на всех стадиях обращения (включая промышленную переработку) должны представлять собой комбинацию технологических операций разделения отходов на отдельные фракции и компоненты для последующей переработки оптимальным способом. Объединяющим процессом в схеме комплексного управления ТБО является сепарация, изменяющая качественный и количественный состав отходов.

Принципиально возможны три взаимодополняющих способа сепарации:

- селективный покомпонентный сбор отходов в жилом секторе с последующей доводкой продуктов на специальных сортировочных установках;
- селективный пофракционный сбор так называемых коммерческих отходов в нежилом секторе (рынки, магазины, школы и др.) с последующим извлечением ценных компонентов на специальных объектах и селективный сбор у населения ценных компонентов ТБО в контейнеры «для вторсырья» с последующей доставкой на те же спецобъекты;
- сортировка отходов в заводских условиях комплексной переработки ТБО.

В условиях Украины более экономичен покомпонентный сбор муниципальных отходов укрупненными группами с направлением на специальные комплексы по сортировке и переработке, создание которых не требует больших капиталовложений [3, 4].

Задача оптимизации сортировки может быть решена на основе раздельного сбора отходов с различным содержанием ценных компонентов, определяющих выход готовой продукции. Необходимое условие самоокупаемости сортировочных установок – направление на сортировку

отходов, содержащих достаточную долю ценных компонентов. По предварительным расчетам, если извлеченные из отходов ценные компоненты превышают 10 % общей массы ТБО, то доходы от реализации вторичного сырья превышают расходы на сортировку. Таким условиям отвечают отходы нежилого сектора города, характеризующиеся повышенным содержанием незагрязненной макулатуры, металлов, пластмассы и др. При выходе полезной продукции порядка 40 % от исходной массы ТБО и производительности установки 90 тыс. т/год срок ее окупаемости не превышает трех лет.

Ценность продукта, извлекаемого на стадии сортировки из техногенного сырья, характеризуется коэффициентом

$$q = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i \varepsilon_i C_i}{\sum_{i=1}^m \alpha_i C_i},$$

где m – число извлекаемых компонентов;

α_i – содержание i -го компонента в сырье;

ε_i – извлечение i -го компонента при сортировке;

C_i – цена 1 т i -го компонента.

По расчетам, соотношение коэффициентов q при сортировке отходов нежилого сектора и вторсырья в сравнении с прямой сортировкой отходов жилого фонда составляет 1 : 8–10, т.е. эффективность сортировки неподготовленных отходов жилого фонда ниже почти на порядок. Об этом свидетельствуют результаты работы ряда действующих в российских городах (Белгород, Ростов-на-Дону) сортировочных установок, сырьем для которых являются неподготовленные ТБО жилого сектора, – доходы едва покрывают расходы предприятий.

При оптимизации технологии сортировки ТБО в схемах их сбора и транспортировки в качестве критерия оптимальности целесообразно использование степени утилизации ТБО (количество ресурсов, извлеченных для вторичного использования путем раздельного сбора отходов в жилом и нежилом секторах города и сепарации отходов, содержащих ценные компоненты). При этом ограничивающим фактором является содержание ценных компонентов в исходном сырье – объекте сортировки.

Оптимизировать транспортировку ТБО можно двумя путями: минимизацией (с помощью сортировки) количества отходов, вывозимых на полигоны, и повышением степени их уплотнения перед вывозом (с помощью компактирования в стационарных уплотняющих устройствах) – рис. 1.

Для оптимизации всей системы в целом и получения максимального экономического эффекта необходимо рассчитывать параметры работы каждого этапа сортировки, компактирования, транспортировки.

Параметрами, влияющими на транспортировку и сепарацию ТБО, являются количество отходов и содержание в них полезных компонентов. Извлечение ценных компонентов ϵ зависит от состава техногенного сырья и производительности установки

$$\epsilon = f(\alpha) \text{ и } \epsilon = f(Q),$$

где α – содержание ценного компонента в техногенном сырье; Q – производительность установки.

Чем выше качество исходного сырья, тем выше извлечение ценных компонентов и ниже себестоимость продукции.

Основным параметром, связывающим сепарацию и компактирование, является количество хвостов, которое определяется исключительно извлечением ценных компонентов на стадии сортировки.

Экономический параметр оптимизации всей системы – прибыль. На отдельных этапах в качестве целевой функции может приниматься минимум затрат при

заданных ограничениях на технологические выходные параметры.

Оптимизация режима сортировки

Сепарация ТБО по сравнению с обогащением первичного сырья – относительно простая задача, поэтому технологические и экономические зависимости можно представить в одной математической модели.

Выбор технологического критерия сепарации во многом определяется экономическими расчетами, т.е. сопоставлением ценности извлекаемого компонента и себестоимости процесса сортировки. В качестве обобщенного технологического критерия сепарации ТБО как многокомпонентной смеси удобно использовать формулу

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n},$$

где n – число компонентов;

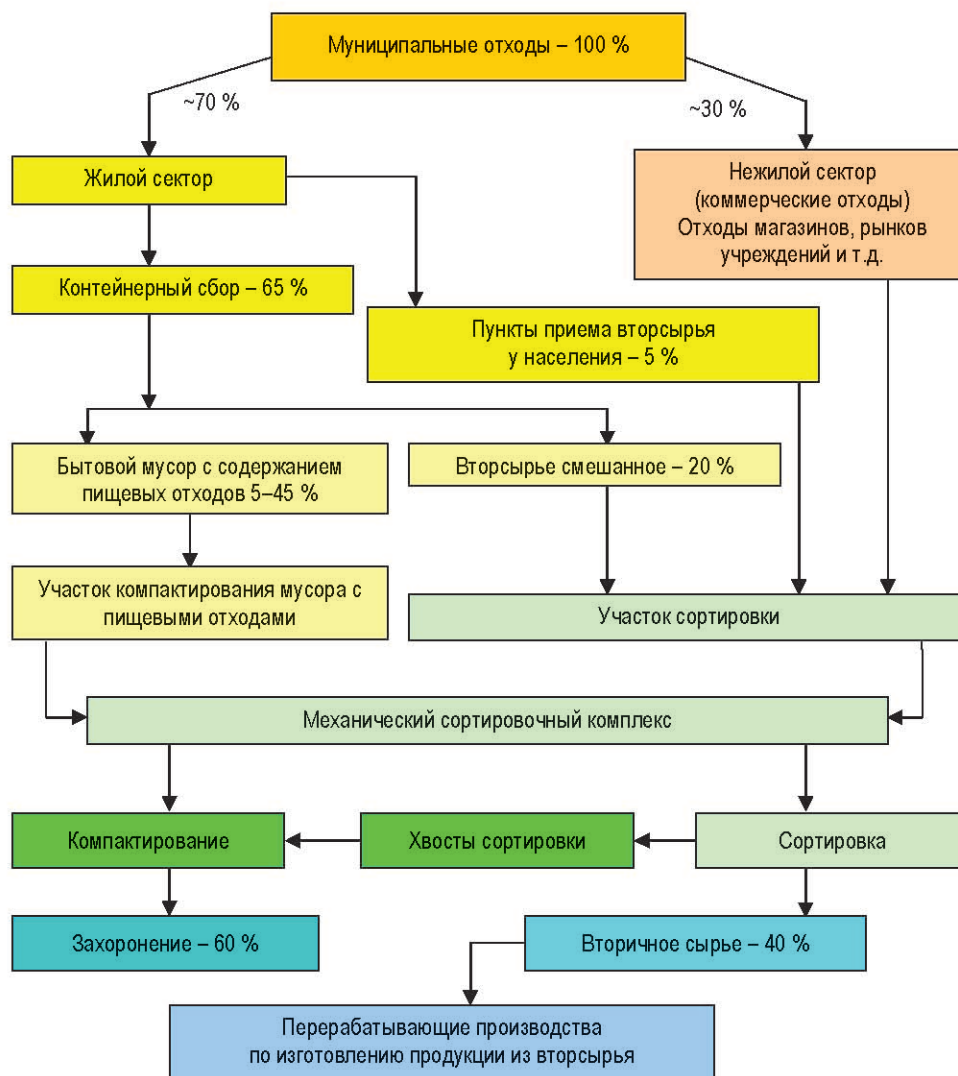


Рисунок 1 – Схема сортировки муниципальных отходов в жилом и нежилом секторах



E – критерий Фоменко

$$E = \varepsilon_i \frac{(1-\theta_i)(1-\gamma_i)}{(1-\alpha_i)}$$

γ_i – выход i -го компонента при сортировке.

Критерий Фоменко оценивает эффективность сепарации с точки зрения полноты извлечения ценных компонентов и неприемлем, если снижение степени извлечения окупается повышением качества конечного продукта (концентрата).

При сепарации ТБО снижение извлечения не может окупиться повышением качества концентрата как конечного продукта, так как в процессе ручной сортировки ТБО степень загрязненности концентрата примесями других компонентов практически значения не имеет. Качество получаемых продуктов определяется в основном качеством исходного техногенного сырья, поэтому использование критерия Фоменко применительно к сепарации ТБО оправданно.

Однако данный критерий имеет два недостатка:

- не характеризует эффективность с точки зрения конечной цели процесса;
- не учитывает относительную ценность извлекаемых компонентов (все компоненты сепарируемой смеси в формуле равнозначны, независимо от их относительной ценности).

Если ввести коэффициенты ценности α_i , учитывающие стоимость каждого компонента, можно получить обобщенную функцию экономической эффективности сепарации (по выделению данного компонента)

$$C_i = \alpha_i \varepsilon_i \frac{(1-\theta_i)(1-\gamma_i)}{(1-\alpha_i)}$$

Практически эту простую формулу можно использовать для оптимизации режима сепарации ТБО. Интегральная оценка эффективности процесса в стоимостном выражении включает в себя количество полученных продуктов сепарации, степень извлечения (степень использования сырья), производительность установки (степень использования оборудования), эксплуатационные затраты

$$C_i = \sum_{i=1}^m P_i - Q \sum_{i=1}^m \alpha_i \alpha_s \ln \frac{\alpha_i}{1-\alpha_i}$$

где P_i – масса концентрата i -го компонента;

Q – масса переработанных ТБО;

α_i – коэффициент ценности i -го компонента;

α_s – содержание i -го ценного компонента в исходном материале;

m – число извлекаемых компонентов.

Цель оптимизации процесса – получение максимальной прибыли, т.е.

$$\Pi = (\sum_k C_k \gamma_k - 3)Q,$$

где γ_k – количество продукта, полученного из 1 т ТБО;
3 – затраты.

Эту формулу можно записать в виде

$$C_k \Pi = [\sum_k C(\alpha_k - \theta_k \gamma_B) - 3]Q,$$

где v_k – содержание k -го компонента хвоста;

γ_B – выход хвоста.

Себестоимость продукции в значительной степени зависит не только от эксплуатационных затрат, но во многом от расхода ТБО на 1 т конечного продукта (концентрата), т.е. от степени извлечения и содержания ценного компонента в исходном продукте.

Расчеты показывают, что максимальную прибыль обеспечивает сортировка ТБО нежилого сектора города: из 1 т таких отходов можно в среднем извлечь 270 кг макулатуры, 48 кг стекла, 47 кг пластмассы, 10 кг дерева, 8 кг текстиля, 9 кг черных и 8 кг цветных металлов. Суммарный выход полезной продукции – 40 %. Максимальную прибыль обеспечивает реализация макулатуры, полимеров и цветных металлов (алюминия) – около 85 % всех доходов от вторсырья; при этом полутное извлечение других компонентов увеличивает прибыль.

Для реализации масштабной программы ресурсосбережения необходимо не только вовлечь в сортировку отходы нежилого сектора города, но и организовать сбор вторсырья у населения за счет создания приемных пунктов (мобильных, стационарных) и, главное, организации контейнерного сбора ценных компонентов. На первом этапе реализации программы получение вторсырья от населения можно планировать на относительно невысоком уровне – 5–7 %.

Термическая переработка в технологиях комплексного управления ТБО

В экономическом плане для переработки неразделенных потоков ТБО наиболее предпочтительны комбинированные технические решения, особенно – комплексная переработка ТБО (комбинация процессов сортировки, термо- и биообработки). Важным процессом в комплексной переработке ТБО является сортировка (в т.ч. на основе селективного сбора), изменяющая качественный и количественный состав отходов.

Предварительная сортировка улучшает и ускоряет процесс ферментации органических веществ, содержащихся в ТБО, облегчает очистку продукта ферментации от примесей, снижает необходимую производительность весьма дорогостоящего биотермического и термического оборудования, улучшает состав продукта ферментации,

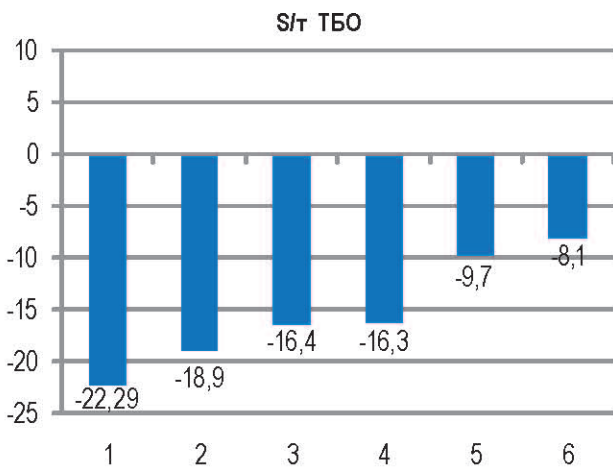


Рисунок 2 – Экономическая эффективность различных технологий переработки ТБО:

- 1 – сжигание; 2 – компостирование; 3 – сортировка + сжигание; 4 – сортировка + компостирование;
- 5 – комплексная переработка; 6 – сортировка + компактирование

шлаков и отходящих газов, улучшает процесс сжигания, упрощает газоочистку. Из чего следует, что сортировка повышает экологичность и экономичность последующих операций термической и биотермической обработки ТБО.

Сортировка в 1,5–2 раза сокращает потребность в дорогостоящем термическом и биотермическом оборудовании. В то же время капитальные затраты на собственно сортировку не превышают 10–15 % от затрат на термо- и биообработку. Иными словами, рациональная сортировка ТБО (покомпонентная и пофракционная) оптими-

зирует последующие этапы обработки (рис. 3) – в этом ее главное назначение, в то время как извлечение тех или иных компонентов для вторичного использования – важная, но частная задача сортировки. Стремление использовать для переработки всей массы ТБО какую-то одну технологию (например, сжигание) приводит к неоправданному увеличению затрат и усиливает негативное влияние технологии на окружающую среду.

Применение термической переработки в схемах комплексного управления ТБО позволяет сократить массу отходов, размещаемых на полигонах, на 85–90 % от исходной.

ВЫВОДЫ

Оптимизация процесса управления ТБО возможна посредством регулирования качества и количества отходов.

Для достижения оптимальности процессов содержание ценных компонентов в исходном сырье на стадии сбора должно обеспечивать максимальный выход полезной продукции на стадии сортировки.

Решение задачи оптимизации масштабной сортировки ТБО для регионов Украины – в раздельном пофракционном сборе отходов с учетом содержания в них ценных компонентов и нежелательных примесей.

Показатель прибыльности может служить экономическим параметром оптимизации управления всей системой управления ТБО, а минимум затрат – целевой функцией в отдельных элементах системы (на стадии

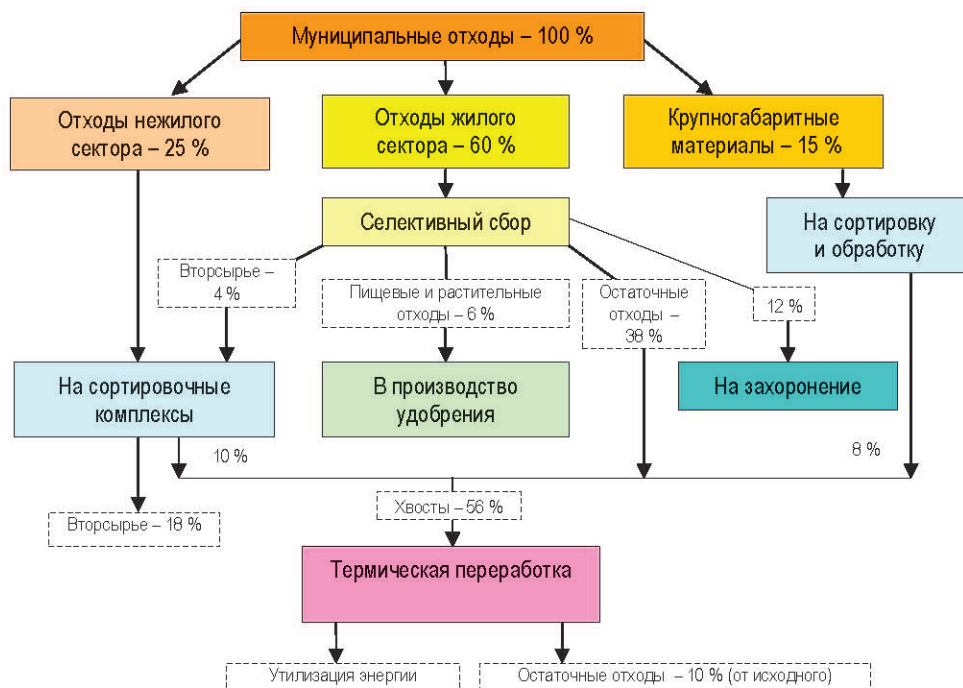


Рисунок 3 – Оптимальная схема централизованного управления потоками городских отходов и вторсырья



сбора, сортировки и удаления) при заданных ограничениях на технологические выходные параметры.

Практическое решение задачи оптимизации системы санитарной очистки города на стадии сбора и удаления ТБО сводится к реализации масштабной программы. Первый этап решения проблемы ТБО – отдельный пофракционный сбор отходов в жилом и нежилом секторах города и сбор ценных компонентов ТБО (вторсырья) у населения. Отходы нежилого сектора города и вторсырье от населения следует транспортировать на специальные сортировочные комплексы, хвосты сортировки подвергать компактированию. Комплекс по сортировке и компактированию ТБО должен стать центром, объединяющим всю систему извлечения из отходов ресурсов, пригодных для вторичного использования, обеспечить снижение объемов полигонного захоронения ТБО и затрат на их транспортировку.

Для переработки не утилизируемой части ТБО наиболее приемлемы комбинированные технологии, включающие термические операции (второй этап решения

проблемы ТБО), что позволяет сократить массу отходов, подлежащих захоронению, до 10–15 % (от исходной).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шубов, Л.Я.** Технологии отходов (технологические процессы в сервисе) / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, Д.Е. Шехирев. – М. : ГОУВПО «МГУС», 2006. – 410 с.
2. **Гриценко, А.В.** Технологические основы промышленной переработки отходов мегалополиса / А.В. Гриценко, Н.П. Горюх, И.В. Коринько и др. – Х. : ХНАДУ, 2005. – 360 с.
3. **Систер, В.Г.** Современные технологии обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов / В.Г. Систер, А.Н. Мирный. – М. : АКХ им. К. Д. Панфилова, 2003. – 303 с.
4. **Бабаев, В.Н.** Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города / В.Н. Бабаев, Н.П. Горюх, И.В. Коринько и др. – Х. : ХНАГХ, 2004. – 376 с.

Поступила в редакцию 11.01.2010

Муниципальні відходи розглядаються як комплекс взаємопов'язаних еколого-економічних проблем, вирішення яких базується на спільній реалізації заходів санітарної очистки міст, переробці відходів та мінімізації обсягів їх захоронення на полігонах.

Municipal wastes are considered as complex of interconnected ecological and economic problems, which solution is based on joint implementation of activities on urban sanitation, waste processing and minimization of disposal at landfills.