

*Государственное учреждение  
Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами*

## Концепция управления твердыми бытовыми отходами

Москва  
2000

**Разработчики концепции:**

Шубов Л.Я.  
Голубин А.К.  
Девяткин В.В.  
Погадаев С.В.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
1. Стратегия управления ТБО (принципиальная концепция сбора, удаления и переработки отходов).....	6
2. Аналитическая оценка состояния и тенденций развития мировой практики переработки твердых бытовых отходов.....	15
3. Укрупненная эколого-экономическая оценка промышленных технологий переработки твердых бытовых отходов.....	21
4. Обоснование выбора оптимальных технологий для проектирования и строительства заводов по комплексной переработке твердых бытовых отходов.....	31
4.1. Оценка и выбор технологий для термической обработки, обезвреживания и утилизации ТБО.....	31
4.2. Оценка и выбор технологий для биотермической обработки, обезвреживания и утилизации ТБО.....	35
4.3. Оценка и выбор технологий для рациональной сортировки ТБО (подготовка ТБО к комплексной переработке).....	37
4.4. Оценка технологий обезвреживания отходов промышленной переработки и перспектив создания безотходного производства .....	54
5. Рациональная программа строительства в Московском регионе объектов промышленной переработки ТБО.....	57
5.1. Оценка технических предложений.....	59
6. Комплексное управление ТБО .....	65
7. Общие выводы.....	67

## ВВЕДЕНИЕ

Твердые бытовые отходы (ТБО) являются многотоннажными отходами потребления (отслужившие свой срок в быту товары и изделия, а также ненужные человеку продукты и их остатки, образовавшиеся в системе городского хозяйства).

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) является весьма актуальной, поскольку ее решение связано с необходимостью обеспечения нормальной жизнедеятельности населения, санитарной очистки городов, охраны окружающей среды и ресурсосбережения. Проблема ТБО характерна для каждого города, но особенно острой она является для такого крупного мегаполиса как Московский регион, где ежегодно образуется около 5 млн. т ТБО (половина из них приходится на Москву).

ТБО, образующиеся в результате жизнедеятельности людей, представляют собой гетерогенную смесь сложного морфологического состава (черные и цветные металлы, макулатуросодержащие и текстильные компоненты, стеклобой, пластмасса, токсически опасные гниющие пищевые и растительные остатки, камни, кости, кожа, резина, дерево, уличный смет и пр.).

Первоочередной задачей в решении проблемы ТБО является разработка оптимальных систем их сбора и удаления (транспортировки). Промедление с удалением ТБО из мест образования недопустимо, так как может привести к серьезному загрязнению городов. Удаляют ТБО либо на полигоны захоронения, либо на специальные заводы для переработки и обезвреживания. В Москве полигонному захоронению подвергают около 95% образующихся ТБО.

Поскольку свалки все дальше удаляются от города, а бесконечно плечо вывоза ТБО увеличиваться не может, становится весьма актуальной промышленная переработка ТБО. Именно промышленная переработка, решающая в совокупности вопросы обезвреживания, ликвидации и утилизации ТБО, представляет собой кардинальный путь решения этой проблемы. Не случайно в европейских странах запланирован к 2010 г. отказ от полигонного захоронения ТБО.

*Постепенный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке является основной тенденцией решения проблемы ТБО в мировой практике.*

Вместе с тем практическое решение проблемы промышленной переработки ТБО связано с большими капиталовложениями, поэтому строительство объектов промышленной переработки ТБО невозможно осуществить быстрыми темпами.

Поскольку дорогостоящая промышленная переработка является конечной операцией в общей схеме управления ТБО и ее эффективность во многом зависит от организации работы на каждой предшествующей стадии – сбора и транспортировки (удаления) муниципальных отходов, *первоочередной задачей в управлении ТБО на ближайшую перспективу является оптимизация их сбора и удаления (при неизменной долгосрочной стратегии перехода от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке).*

Оптимальная санитарная очистка города во многом обеспечивается правильной технической и финансовой политикой при решении вопросов управления ТБО. Такая политика должна базироваться на объективном анализе состояния и тенденций развития мировой практики, ориентироваться на лучшие мировые достижения,

реализовываться с привлечением к решению этой сложной проблемы разных фирм на тендерной основе и изучением возможности использования различных источников. Капитальные вложения в решение проблемы ТБО должны быть ориентированы на создание наиболее прогрессивной модели управления отходами.

Цель настоящей работы - разработка научно обоснованной концепции и стратегии управления ТБО.

В отличие от опубликованных материалов, претендующих на роль концептуальных разработок в области управления ТБО, но при этом бездоказательно стремящихся к рекламе какой-то одной технологии как наилучшей среди остальных (в том числе с ней не сравнимых), в настоящей работе, помимо аналитической оценки состояния мировой практики переработки ТБО и направлений ее развития, реализован подход к выбору оптимальных методов переработки на основе их укрупненного сравнения по экономическим, технологическим и экологическим критериям.

## **1. Стратегия управления ТБО (принципиальная концепция сбора, удаления и переработки отходов)**

Государственную политику в области обращения с отходами определяют четыре Федеральных закона:

1. Об охране окружающей природной среды (от 19.12.91);
2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения (от 19.04.91);
3. Об экологической экспертизе (от 19.07.95);
4. Об отходах производства и потребления (от 10.06.98).

В соответствии с этими законами и тенденциями развития мировой практики стратегия управления отходами базируется на решении следующих основных задач:

- минимизация количества образующихся отходов;
- максимально возможное вовлечение отходов в хозяйственный оборот и их материально-энергетическая утилизация как техногенного сырья;
- изыскание экологически безопасных методов переработки отходов с наименьшими экономическими затратами;
- минимизация затрат на санитарную очистку города;
- постепенный переход от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке.

Комплексное управление ТБО включает в себя организацию их сбора, удаления (транспортировки), переработки и захоронения, а также реализацию мероприятий по уменьшению количества отходов, направляемых на переработку и захоронение.

Исходя из гетерогенного состава муниципальных отходов, схемы управления ТБО на всех стадиях обращения с отходами (включая промышленную переработку) должны представлять собой комбинацию технологических операций разделения отходов на отдельные фракции и компоненты с последующей их переработкой оптимальным методом. Объединяющим процессом в схеме комплексного управления ТБО является сепарация, изменяющая качественный и количественный состав ТБО.

Первоочередной задачей в разработке схемы управления ТБО является организация их сбора и удаления (транспортировки). Промедление с удалением ТБО из мест образования недопустимо, так как может привести к серьезному загрязнению городов. Удаляют ТБО либо на полигоны захоронения, либо на специальные заводы для переработки и обезвреживания.

*Постепенный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке является основной тенденцией решения проблемы ТБО в мировой практике.* Вовлечение ТБО в промышленную переработку во многом снимает противоречие между городом, где образуется большое количество отходов, и пригородом, где отходы должны быть размещены.

Минимизация количества отходов, направляемых на объекты их переработки и захоронения, решается в мировой практике на основе включения в схему управления операций сортировки ТБО и выделения ресурсов, пригодных для дальнейшего использования.

Одним из основных методов минимизации количества отходов, поступающих на объекты санитарной очистки, является предварительная сортировка отходов.

Принципиально возможны три взаимодополняющих друг друга направления сепарации ТБО:

- селективный покомпонентный сбор отходов у населения в местах образования с последующей доводкой продуктов на специальных сортировочных установках (преимущественно методами ручной сортировки; для извлечения металлов иногда применяется механизированная сепарация);
- селективный пофракционный сбор в местах образования так называемых коммерческих отходов, образующихся в нежилом секторе города (отходы рынков, магазинов, учреждений, школ и др.), с последующим извлечением из них ценных компонентов комбинированными методами ручной и механизированной сортировки (на специальных объектах);
- сортировка в заводских условиях комплексной переработки ТБО (преимущественно механизированная, поскольку ручная сортировка отходов жилого фонда на ленте тихоходного конвейера малоэффективна; в ряде случаев технологическая схема может включать элементы ручной сортировки крупнокусковой фракции ТБО).

В европейских странах, США и Японии широко практикуется отдельный сбор отходов в местах их образования, что во многом предотвращает попадание в ТБО как ценных (незагрязненная макулатура, стекло, пластмассы, металлы), так и опасных (отработанные люминесцентные лампы, аккумуляторы, батарейки) компонентов. По разным оценкам, выход селективно собранных отходов потребления составляет 15-25% от общего количества образующихся ТБО.

Реализация в европейских городах селективного сбора компонентов ТБО в качестве сырья для вторичного использования основана на организации разъяснительной и информационной работы среди населения (начиная со школьных программ обучения) и использовании специальных контейнеров, устанавливаемых в местах образования отходов. Отдельный сбор отходов часто стимулируется снижением платы за удаление ТБО (оплачивается в основном вывоз не утилизируемой части ТБО).

Организация селективного сбора ТБО в европейских городах рассмотрена ниже на примере Берлина (Германия)<sup>х)</sup>.

Для сбора с целью последующей утилизации полезных компонентов ТБО в Берлине используются контейнеры нескольких цветов: синий – для бумаги; коричневый, зеленый и белый – для стекла; желтый контейнер или мешок – для бывшей в употреблении упаковки (на которой нанесен специальный зеленый знак); черный с коричневой крышкой – для пищевых и растительных отходов; серый контейнер – для всех остальных отходов. При пользовании контейнерами население Берлина руководствуется требованиями к сортировке отходов по видам (табл. 1.1).

---

<sup>х)</sup> Сбором и удалением ТБО в Берлине занимается крупнейшая в Европе коммунальная фирма BSR (Berliner Stadtreinigungsbertriebe). Фирма занимается также сбором КГМ (громоздкие отходы типа старой мебели, ковровых покрытий, металла, дерева, а также текстиля); до двух кубических метров отходов принимают бесплатно.

Специализированный транспорт, работающий по определенному графику, собирает в Берлине опасные отходы (до 20 кг – бесплатно).

Таблица 1.1

**Требования к сортировке отходов по видам  
(Берлин, Германия)**

Цвет контейнера	Что следует бросать	Что не следует бросать
Синий - для бумаги	Газеты, журналы, упаковку из бумаги и картона	Остатки обоев, грязную бумагу (в том числе гигиеническую), покрытую слоем бумаги (например, восковую, фотобумагу для графики), копировальную бумагу.
Коричневый - для коричневого стекла. Зеленый - для зеленого стекла. Белый - для белого стекла	Бутылки всех видов для одноразового пользования, банки от мармелада и консервов, упаковку из стекла, сортированную по окраске.	Лампочки, керамику и фарфор, зеркала, оконное, ветровое, лабораторное стекло, свинцовый хрусталь
Желтый контейнер или желтый мешок - для упаковки, на которую нанесен специальный зеленый знак	Упаковку, на которую нанесен специальный зеленый знак. Упаковку из белой жести и алюминия (например, банки из под консервов и напитков, алюминиевые крышки и фольга). Упаковку с многослойной структурой (например, пакеты из под сока и молока, вакуумная упаковка). Упаковку из пластмассы (например, стаканчики от йогурта, полиэтиленовые пакеты).	Стекло, бумагу и картон, остаточный мусор, громоздкие отходы, вредные вещества, пищевые и растительные отходы, деревянные ящики
Черный или коричневой крышкой - для пищевых и растительных отходов	Остатки от овощей и фруктов (в том числе от апельсинов и грейпфрутов), кофейную гущу и фильтры, использованные пакеты для заварки чая, остатки еды и испорченные продукты (например, колбасу, мясо, рыбу), увядшие цветы, садовые отходы (а также скошенную траву), оберточную бумагу.	Заполненные мешки из пылесоса, золу, текстиль, кожу, обработанное дерево, пленки, бинты, опилки, использованные домашними животными.
Серый контейнер - для оставшихся отходов	Отходы, не попавшие в другие контейнеры	Громоздкий мусор, отходы металла, дерева и текстиля. Вредные вещества (батарейки, лаки, краски, кислоты, медикаменты, средства для борьбы с насекомыми)

В российских условиях в ближайшие десятилетия сложно организовать повсеместно селективный сбор отходов потребления у населения. Это объясняется неподготовленностью населения, отсутствием соответствующих бытовых условий и технического обеспечения, большими трудозатратами, отсутствием потребителя для каждого из выделенных отходов и др. Поэтому в российских условиях более предпочтителен не покомпонентный, а пофракционный сбор муниципальных отходов, с направлением обогащенных фракций на специальные комплексы по сортировке и переработке, создание которых не требует больших капиталовложений. В тоже время актуальна организация пунктов приема вторсырья от населения, а также организация, в порядке эксперимента, контейнерного сбора отдельных компонентов у населения. В итоге одновременно обеспечивается получение ценной, пользующейся спросом, продукции и сокращение количества отходов, направляемых на захоронение или сжигание.

Сортировке на специальных объектах должны подвергаться исключительно отходы нежилого сектора города (торговые и коммерческие предприятия, административные учреждения, учебные заведения и т.п.), характеризующиеся повышенным содержанием незагрязненной макулатуры, металлов, пластмассы и



низким содержанием пищевых и растительных остатков. Таким образом, оптимальный состав ТБО, вовлекаемых в масштабную переработку для получения ценных продуктов, должен подбираться за счет централизованной организации в городах несмешивающихся потоков муниципальных отходов, часть которых, обогащенная ценными компонентами, направляется на комплексы по сортировке и переработке ТБО. Подвергая до 40% образующихся в крупном городе отходов сортировке, обеспечивается сокращение потока отходов, направляемых на объекты их переработки и захоронения, на 20% (при извлечении ценных компонентов на уровне 50%). Эффективность управления любой системой, как это видно на примере ТБО – многотоннажного отхода потребления (рис. 1.1), существенно повышается при регулировании входящих в систему потоков. Управление качеством и количеством образующихся ТБО на основе их разделения на несколько несмешивающихся потоков (раздельный сбор отходов жилого и нежилого сектора, опасных компонентов, вторичного сырья у населения) позволяет создать систему обращения с отходами, отвечающую современным требованиям экологии, экономики и ресурсосбережения. На стадии сбора и удаления ТБО во многом определяется, таким образом, эффективность и безопасность их дальнейшей переработки и захоронения.

Услуги по сбору и удалению ТБО в российских городах и населенных пунктах осуществляют муниципальные спецавтохозяйства и коммерческие предприятия в сроки, регламентируемые санитарными правилами. Режим удаления ТБО согласуется органами коммунального хозяйства с местными учреждениями санитарно-эпидемиологического надзора (СЭН) и утверждается на основании решений местных административных органов. Периодичность удаления ТБО с территорий домовладений и организаций составляет, как правило, не реже одного раза в три дня (в Москве – ежедневно)<sup>х)</sup>.

Сбор ТБО осуществляется в специальные контейнеры-сборники, устанавливаемые на бетонированной или асфальтированной площадке. В Москве наиболее распространены контейнеры емкостью 0,75 м<sup>3</sup>, 0,8 м<sup>3</sup> и 1,1 м<sup>3</sup> (рис. 1.2).

Для транспортировки ТБО в российских городах преимущественно используются собирающие мусоровозы с уплотняющими устройствами (табл. 1.2) типа ФАУН (объем кузова 18 м<sup>3</sup>, номинальная грузоподъемность 10,3 т), КО-415 (объем кузова 23 м<sup>3</sup>, номинальная грузоподъемность 9,4 т) и КО-424 (объем кузова 7,5 м<sup>3</sup>, номинальная грузоподъемность 2,9 т). По данным практики, реальная грузоподъемность собирающих мусоровозов составляет 60-80% от номинальной, что во многом объясняется малой эффективностью уплотнения отходов в кузове мусоровоза (из-за неоднородного состава и крупности отходов и недостаточного усилия прессования в реальных условиях эксплуатации мусоровозов; кроме того, контроль заполнения кузова отсутствует, а оценка его заполнения по числу опорожненных контейнеров неточна, так как сами контейнеры могут быть загружены не полностью).

---

<sup>х)</sup> В Москве услуги по вывозу ТБО оказывают около 80 предприятий-подрядчиков, заключающие договоры с ДЕЗами (Дирекциями единого заказчика), причем ДЕЗы ведут поиски альтернативных подрядных организаций. Оплата по договорам производится после официального ежемесячного подтверждения о захоронении или переработке вывезенных ТБО.

Таблица 1.2

**Основные типы мусоровозов, вывозящих ТБО**  
(на примере г. Москвы)

Тип, марка	Масса вывоз. ТБО, кг	Объем кузова, м <sup>3</sup>	Шасси	Кратность уплотнения	Время разгрузки, мин.	Габаритные размеры, мм	Полная масса, кг	Высота подъема, мм	Радиус поворота внешний, м
КО-424	2900	7,5	ЗИЛ-431412	1,85	5-7	5900х2340х3100	8500	4500	8,9
КО-431	3600	10	ЗИЛ-433362	1,8-2,2	5-7	5900х2340х3100	-	5800	8,9
КО-427	7900	16	МАЗ-5337	1,8-2,2	12	9500х2500х3300	-	-	9,5
Рико	10200	16	КАМАЗ 353213	2,5-3,0	8,4	9450х2500х3250	-	5410	9,7
Фаун	10300	18	КАМАЗ 353213	2,5-3,0	3,2	8450х2500х3440	12365	5410	9,7
Фаун	10300	18	МАН, Мерседес	2,5-3,0	3,2	8450х2500х3440	12365	5410	9,7

В случае отдаленности от крупного города полигонов захоронения ТБО целесообразна организация двухстадийного удаления муниципальных отходов с использованием мусороперегрузочных станций (МПС), оснащенных стационарными уплотняющими устройствами – компакторами. Собирающие мусоровозы должны доставлять ТБО на МПС, расположенную в черте города, где ТБО перегружаются в воронку компактора, к которому пристыковывается специальный пресс-контейнер емкостью 20-30 м<sup>3</sup> (рис. 1.3). Полнота заполнения пресс-контейнера определяется изменением усилия прессования на прессующей плите компактора. Заполненный контейнер устанавливается на контейнеровоз – транспортное средство, оснащенное специальным устройством в виде крюка, затягивающего контейнер по направляющим роликам на платформу. Контейнеровоз осуществляет вывоз ТБО на полигон захоронения<sup>х)</sup>. Уплотнение ТБО в стационарных устройствах на МПС решает задачу оптимальной загрузки транспорта при вывозе ТБО на большие расстояния, позволяет уменьшить количество собирающих мусоровозов и снизить расходы на удаление ТБО.

<sup>х)</sup> За рубежом при удалении ТБО на расстояние более 100 км считается экономически целесообразным использовать в качестве транспортных средств железнодорожные платформы (на одну платформу устанавливают два пресс-контейнера).

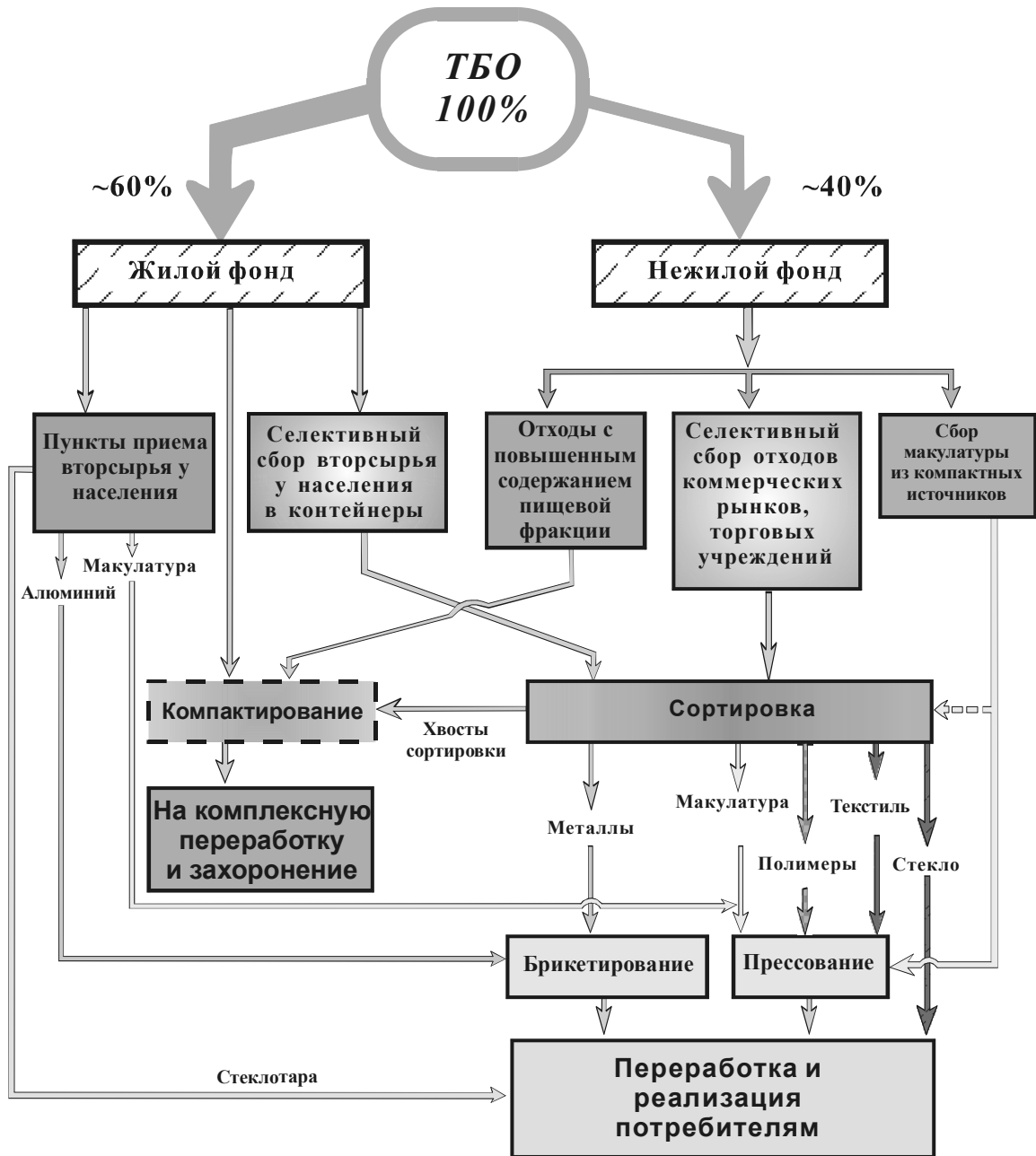


Рис. 1.1. Рациональная схема управления муниципальными отходами

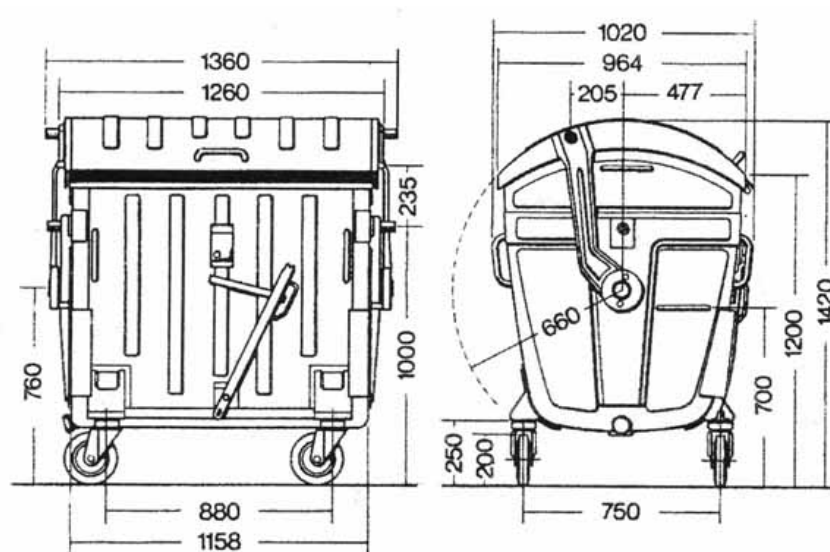


Рис. 1.2. Контейнер для сбора ТБО емкостью 1,1 м<sup>3</sup>

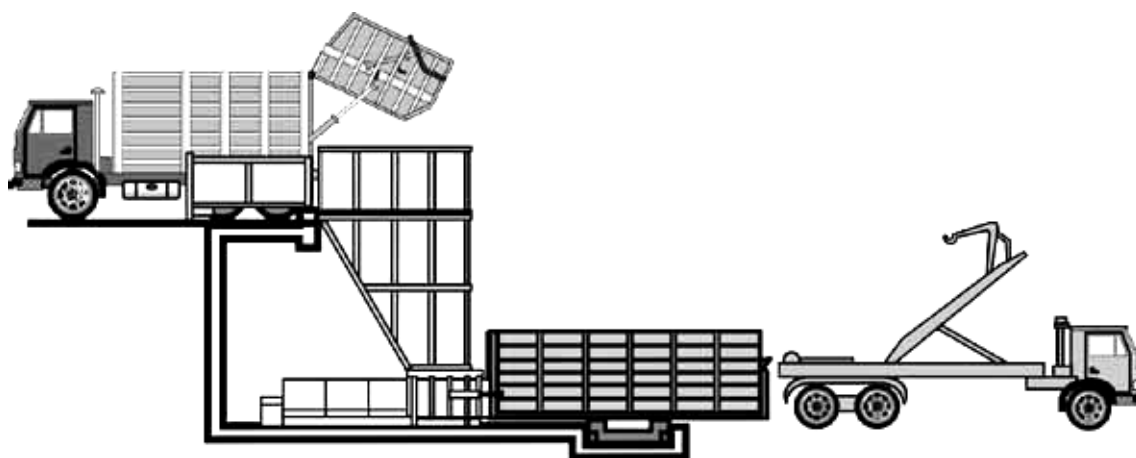


Рис. 1.3. Схема перегрузки ТБО с контейнерным прессованием

Таким образом, при решении вопросов оптимизации системы управления муниципальными отходами на стадии их сбора и удаления в качестве критерия оптимальности следует принимать степень утилизации ТБО (количество отходов, выделенных для вторичного использования на основе их отдельного сбора в жилом и нежилом секторе города и сортировки отходов, обогащенных полезными компонентами) и затраты на сбор и транспортировку ТБО (экономические критерии).

Конечной операцией в общей схеме управления ТБО, эффективность которой во многом зависит от организации работы на предшествующих стадиях сбора и удаления муниципальных отходов, является промышленная переработка, решающая в совокупности вопросы обезвреживания, ликвидации и утилизации ТБО. Переход от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке является долгосрочной стратегией кардинального решения проблемы ТБО.

В Москву и другие города РФ поступили многочисленные предложения от иностранных и российских фирм и граждан по использованию различных технологий для промышленной переработки ТБО. Как правило, любая предлагаемая технология представляется как лучшая и самая эффективная в мировой практике. Чтобы сделать правильный выбор, в рынке технологий необходимо разбираться.

Для реализации правильной технической и экономической политики в области создания прогрессивной промышленной отрасли переработки ТБО и выбора оптимальных технических решений для проектирования и строительства новых заводов необходима разработка научно обоснованной концепции промышленной переработки муниципальных отходов.

В настоящее время опубликован ряд материалов, претендующих, с точки зрения авторов этих материалов, на роль концептуальных разработок в области управления ТБО. Их отличительная особенность - бездоказательная реклама какой-то одной технологии как наилучшей по сравнению со всеми остальными (в том числе с ней не сравнимыми). Например, проблему ТБО предлагается решить с применением либо пирометаллургического метода переработки (якобы как экологически наиболее чистого), либо с применением метода биотермического аэробного компостирования в биобарабанах (якобы обеспечивающего получение ценного органического удобрения и естественный круговорот веществ в природе), либо каким-либо другим методом. Естественно, авторы-разработчики этих концепций и рекламируемых в них технологий выступают в одном лице. Совершенно очевидно, что концепции промышленной переработки ТБО, обосновывающие применение разработанной тем или иным автором конкретной технологии как единственно возможной и целесообразной для практического применения, являются несостоятельными, поскольку число этих концепций будет равно числу технических предложений, а в действительности концепция может быть только одна – **научно обоснованная**.

Принципы построения концепции промышленной переработки ТБО базируются на том, что проблема ТБО – это взаимосвязанная эколого-экономическая и технологическая проблема, а сами ТБО должны рассматриваться как техногенное сырье сложного органо-минерального состава. Технологию переработки ТБО следует рассматривать как метод инженерной защиты окружающей среды. Любая технология должна решать вопросы обезвреживания ТБО, учитывать требования ресурсосбережения (материально-энергетическое использование отходов) и минимизации количества отходов для полигонного захоронения. Приоритетными при

выборе и создании технологии, отвечающей достижениям и тенденциям развития мировой практики, являются эколого-экономические критерии (экологическая безопасность технологии, количество и экологическая безопасность образующихся отходов, экологическая безопасность новой продукции, экономическая эффективность, капитальные и эксплуатационные затраты).

## 2. Аналитическая оценка состояния и тенденций развития мировой практики переработки твердых бытовых отходов

В мировой практике наиболее часто применяют термическую обработку ТБО (в основном - сжигание), значительно реже - аэробную и анаэробную ферментацию. Возможность использования для переработки ТБО этих методов основана на морфологическом составе ТБО, которые содержат до 70-80% органической (горючей, биоразлагаемой) фракции.

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, свои оптимальные области применения, зависящие главным образом от морфологического состава ТБО и региональных условий.

Одним из наиболее распространенных и технически отработанных методов промышленной обработки ТБО перед их удалением на свалки является **сжигание** (часто с утилизацией энергии). В европейских странах сжиганием перерабатывают 20-25% объема городских отходов, в Японии - около 65%, в США - около 15% (в США мусоросжигание рассматривают как один из основных способов продления срока службы свалок).

Техника и технология сжигания ТБО непрерывно совершенствовались. В 30-е годы были разработаны печи для непрерывного слоевого сжигания ТБО, осуществляемого на валковой или переталкивающей колосниковой решетке, установленной в нижней части печи. В начале 80-х годов стали появляться котлоагрегаты с топками с псевдоожиженным слоем (система "твердое-газ"), а в конце 80-х - печи с циркулирующим кипящим слоем, в большей степени отвечающие экологическим требованиям, но требующие обязательной подготовки отходов к сжиганию.

В сложившейся мировой промышленной практике термической переработки ТБО слоевое сжигание при 850-1000°C применяется наиболее часто. Вместе с тем сжигание в кипящем слое практикуется уже в целом ряде стран, а сжигание в циркулирующем кипящем слое также находит применение в промышленной практике (заводы в Чикаго и Осло, несколько заводов в Японии).

Судя по данным практики, технология прямого сжигания ТБО представляет определенную экологическую опасность вследствие токсичных выбросов (тяжелые металлы, дибензодиоксины, дибензофураны, оксиды углерода и азота и др.) и требует многостадийной газоочистки.

Крупные мусоросжигательные заводы являются также достаточно крупными производителями энергии (пар, электроэнергия), но дорогостоящая газоочистка ухудшает экономические показатели таких заводов. В связи с этим повышается значение прямого рецикла материалов, попадающих в отходы, обогащения отходов и реализации первичных мероприятий, облегчающих газоочистку. Можно констатировать стремление уменьшить поток отходов, направляемых на сжигание (за счет селективного сбора и сортировки), стабилизировать их состав, выделив полезные и опасные компоненты перед сжиганием.

В Германии, например, где традиционно преобладают термические методы переработки ТБО и техническое развитие в этой области до последнего времени было связано именно с совершенствованием термических технологий, возникшие

проблемы в определенной степени решаются за счет организации селективного сбора отходов в местах их образования. При этом селективным сбором охвачены не только те или иные ценные компоненты (стекло, металлы, макулатура и др.), но и опасные отходы (отработанные сухие гальваноэлементы, отработанные ртутные лампы и др.). Можно констатировать, что такие опасные отходы, как отработанные электробатарейки, в ТБО практически не попадают. Аналогичная ситуация сложилась в Японии и ряде других стран. В то же время практическое отсутствие отдельного сбора и несовершенство технологии сбора и вывоза отходов в России приводит к высокому содержанию в ТБО влаги, негорючих (металлов, стекла, отходов строительных материалов) и опасных в экологическом отношении компонентов. Поэтому механический перенос европейского термического оборудования и технологий в российские условия для прямого сжигания неподготовленных городских отходов не является оптимальным решением. Об этом свидетельствует практика одиннадцати мусоросжигательных заводов СНГ, оснащенных комплектным импортным оборудованием (процесс сжигания плохо стабилизируется, оптимальная температура зачастую не достигается, большой выход недожога, полная потеря цветных металлов и значительная потеря черных металлов, плохое качество шлака и его загрязнение тяжелыми металлами, эксплуатационные осложнения при попадании в печь бордюрного камня и большого количества металла, сложность организации эффективной газоочистки при нестабильном горении отходов и повышенном содержании в них тяжелых металлов и др.).

Основным недостатком традиционных методов термической обработки отходов является, наряду с загрязнением дымовых газов токсичными соединениями, образование значительных количеств шлаков (около 25% по массе или 10% по объему), которые отличаются повышенным содержанием тяжелых металлов и по этой причине находят лишь ограниченное применение (в основном, в качестве пересыпного материала на свалках или несущего материала при укладке дорог). Для использования в стройиндустрии эти шлаки должны быть обезврежены. Основным способом обезвреживания шлаков является их плавление (электропечи, печи с газовыми или мазутными горелками и пр.) с последующим остекловыванием. В остеклованной форме токсичные вещества находятся в изолированном состоянии и не вымываются из шлака даже после его измельчения.

Технология остекловывания шлака является энергоемкой, и соответственно дорогостоящей. Поэтому в последнее время в мире интенсивно ведется разработка технологий, которые обеспечивали бы получение расплава шлака непосредственно в процессе термической обработки ТБО; одновременно при высокой температуре происходит разрушение токсичных органических соединений.

Добиться повышения температуры в аппарате выше температуры плавления шлаков (около 1300°C) можно различными способами.

Из различных методов высокотемпературной обработки ТБО в опытно-промышленном масштабе испытаны следующие процессы:

- 1) процесс “полукоксование-сжигание” фирмы SIEMENS, Германия, (совместное сжигание при температуре 1300°C пирогаза и тонкоизмельченного твердого углеродистого остатка, отсепарированного от минеральных компонентов после пиролиза исходных ТБО при 450°C, с образованием расплава шлака);



2) процесс “пиролиз-газификация” фирмы NOELL, Германия, (совместная термообработка в кислородной среде при температуре 1400-1700°C пирогаза и твердого углеродистого остатка, отсепарированного от минеральных компонентов после пиролиза исходных ТБО при 550°C, с образованием синтез-газа и расплава шлака, с энергетическим использованием синтез-газа;

3) процесс “пиролиз-газификация” фирмы “Thermoselect S.A”, Италия (пиролиз спрессованных ТБО при температуре 550°C и совместная термообработка в кислородной среде твердого углеродистого остатка и минеральных компонентов в реакторе газификации при температуре 2000°C, с образованием оксида углерода и расплава шлака, с энергетическим использованием синтез-газа, образующегося при смешивании оксида углерода и пирогаза в верхней части реактора газификации);

4) процесс сжигания при температуре 1350-1400°C в слое шлакового расплава (металлургические печи Ванюкова, электропечи), предложенный рядом российских фирм (Гинцветмет, Гипроцветмет, ВНИИЭТО и др.).

Из новых термических методов, апробированных в укрупненном масштабе, предпочтительными представляются процессы, связанные с газификацией отходов, поскольку сжигание газа - это наиболее чистый способ сжигания, требующий простейшей схемы очистки отходящих газов. В настоящее время в Германии технология газификации заложена в проекты нескольких строящихся заводов, с пуском которых будут ясны преимущества и недостатки новых процессов. Из отечественных технологий серьезного внимания заслуживает процесс паровоздушной газификации в плотном слое твердых отходов в реакторе типа вертикальной шахтной печи (с использованием подогретого в теплообменнике воздуха и водяного пара), разработанный институтом химической физики РАН; в 1998-99 гг. процесс отработан в промышленно-экспериментальном масштабе в Финляндии.

Как альтернатива сжиганию в мировой практике развивались бестермические методы переработки ТБО, из которых наиболее распространено **компостирование** (биохимическое разложение органической части ТБО микроорганизмами). Термин “компостирование” в приложении к ТБО не совсем удачен: по существу речь идет о ферментации, о стабилизации органических компонентов; стабилизированный органический продукт может быть использован не только в сельском хозяйстве (в качестве компоста), но и в других направлениях - для производства этанола, для энергетического применения и др. В различных странах с получением компоста перерабатывается не более 5% ТБО.

В СНГ с 1971 г. по 1987 г. по проектам института "Гипрокоммунстрой" построено 8 заводов (в городах Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Ташкент, Алма-Ата, Баку, Тбилиси, Минск, Могилев), а в конце 1994 г. - 9-й завод (в Санкт-Петербурге), на которых реализована практически одна и та же технология прямого компостирования исходных ТБО. Некоторым исключением является Санкт-Петербургский завод N 1, на котором реализовано частичное извлечение из исходных ТБО, перед компостированием, черного металлолома. Несмотря на то, что Санкт-Петербургский завод был первым, построенным в бывшем СССР, положительный опыт его функционирования не был учтен при проектировании заводов в других городах, на которых ТБО подвергают компостированию без какой-либо первичной

обработки. При практически неизменной технологии все действующие в СНГ заводы отличаются лишь схемой цепи аппаратов. Все заводы оснащены оборудованием для трех основных технологических операций, обеспечивающих производство компоста: частичной (в Санкт-Петербурге) предварительной подготовки ТБО, биотермического аэробного компостирования в биобарабанах, очистки компоста от примесей и складирования компоста; на некоторых заводах, кроме того, предусмотрена термическая обработка (сжигание, пиролиз) некомпостируемой фракции (г.г. Санкт-Петербург, Минск, Тбилиси, Ташкент).

На всех компостных заводах в СНГ получаемый компост имеет весьма плохой товарный вид, характеризуется низким качеством и сбывается с большим трудом. Товарный вид компоста Санкт-Петербургского завода более благоприятен, но, как и на остальных заводах, компост существенно загрязнен тяжелыми металлами.

Из различных технологий биообработки отходов наиболее прогрессивной в настоящее время является технология биотермической аэробной ферментации швейцарской фирмы "Buhler". Ведущие фирмы США, Германии, Италии, Японии в настоящее время перешли на технологию фирмы "Buhler", отказавшись от технологии компостирования в биобарабанах (используемой на всех заводах СНГ).

По технологии фирмы "Buhler" процесс ферментации осуществляется не в медленно вращающихся биобарабанах, в которых материал находится около двух суток, и процесс ферментации, по существу, только начинается (потеря массы вещества не более 4%), а в бассейне выдержки, в котором материал находится 4 недели, и процесс ферментации полностью заканчивается с получением сухого стабилизированного продукта (потеря массы вещества - 50%). Технологический процесс аэробной ферментации в бассейне выдержки поддается полной автоматизации и непрерывно контролируется (температура, расход аэрируемого воздуха, влажность), в то время как процесс компостирования в биобарабанах протекает практически бесконтрольно.

Поскольку продукт ферментации по процессу "Buhler" является сухим, эта технология имеет еще одно преимущество - обеспечивает весьма эффективную очистку стабилизированной органической фракции от механических примесей (применение комбинации процессов грохочения и аэросепарации). Этот продукт имеет хороший товарный вид и может использоваться не только в качестве удобрения (практика Италии, Испании и Франции), но и применяться как исходное сырье для производства этилового спирта, как подготовленное топливо для сжигания и т.д.

Из других новых технологий биотермической аэробной ферментации серьезного внимания заслуживает так называемое туннельное компостирование.

Третий метод промышленной переработки ТБО - **анаэробная ферментация** (получение и утилизация биогаза, образующегося при разложении органических компонентов ТБО в анаэробных условиях) - чаще всего используется непосредственно на полигонах захоронения (в США, например, имеется около 100 установок по утилизации метана, получаемого за счет гниения мусора на свалках); впервые в РФ сбор и утилизация биогаза организованы в 1996 г. на свалках в городах Мытищи и Серпухов. Вместе с тем в Германии, Бельгии, Франции и ряде других стран разработана технология получения биогаза из органической фракции, выделенной из ТБО при их обогащении на заводах. По-видимому, возможность

применения анаэробной ферментации органической фракции ТБО следует учитывать в тех случаях, когда имеется практическая потребность в биогазе.

В процессах заводской анаэробной ферментации (сбраживания) в качестве полезной продукции получается не только биогаз, но и компост. Герметичность установок анаэробной переработки отходов обеспечивает соблюдение экологических и санитарных норм реализации этого процесса.

В 1988 г. в г. Амьен (Франция) вошел в строй завод производительностью 110 тыс. т ТБО в год, работающий по системе "Valorga". Технологический процесс по этой схеме включает следующие операции: сортировка исходных ТБО (выделение металлов, удаление крупногабаритных и части инертных отходов), анаэробное (без доступа воздуха) сбраживание органических веществ в ферментационных баках (дигестерах) с получением биогаза (содержит 60-65% метана) и специфической массы "Digestat", являющейся составляющей высококачественного удобрения. После очистки этой массы от примесей (стекло, текстиль, дерево, пластмасса и др.) с применением методов сортировки получается новый вид удобрения, который существенно отличается от компоста (более схож с перегноем), продается в гранулированном виде (размер гранул около 10 мм) по цене 150-200 франков за 1 т (для сравнения: цена компоста во Франции 20 франков за 1 т) и используется как дополнение к минеральным удобрениям. Состав нового удобрения (%): органического вещества - 30-35, углерода - 10-12, азота - 0.8-0.9, фосфора ( $P_2O_5$ ) - 0.3, калия ( $K_2O$ ) - 1.3, кальция - 5.3, магния - 0.3, влажность 40-65%. Из 100 т отходов по технологии "Valorga" можно получить 13-15 т газа, 35-40 т удобрений; количество отходов составляет 10-20% от общей массы.

Заводы, на которых реализована технология анаэробной ферментации, являются самыми дорогими среди альтернативных технологий, что связано с необходимостью применения большого числа реакторов большой емкости.

Практический опыт переработки ТБО в различных странах показывает, что не существует какого-либо одного универсального метода, удовлетворяющего современным требованиям экологии, экономики, ресурсосбережения и рынка. Этим требованиям, тенденциям развития мировой практики, рекомендациям международных экологических конгрессов в наибольшей степени отвечает проектирование и строительство комбинированных мусороперерабатывающих заводов, обеспечивающих использование отходов как источника энергии и как вторичного сырья. Построение промышленной технологии именно по принципу комбинации различных методов переработки ТБО нивелирует недостатки каждого метода, взятого в отдельности. Именно комплексная переработка ТБО, как системная комбинация на новой основе сортировки, термообработки, ферментации и других процессов, обеспечивает в совокупности малую отходность производства, его максимальную экологичность и экономичность.

Убедительным подтверждением развития мировой технической политики в направлении именно комплексной переработки ТБО (комбинация методов сортировки, био- и термической обработки и других) является пуск в 1997 г. крупнейшего в мире завода близ Чикаго (500 тыс. т/год), который американцы называют прообразом заводов 21-го века; аналогичный завод проектируется для Милана. Технология комплексной переработки применяется на заводах в Италии,

Бельгии, Швейцарии, Японии и других странах; в 1998 г. вошел в строй крупный завод в Германии (г. Кельн), также использующий комбинацию процессов (сортировка и сжигание).

Объединяющим процессом в схеме комплексной переработки ТБО является сортировка (в том числе на основе селективного сбора), изменяющая качественный и количественный состав ТБО. При этом повышается не только доля рецикла ряда компонентов ТБО (в основном металлов), но и во многом решаются вопросы удаления опасных бытовых отходов и балластных компонентов, оптимальной подготовки тех или иных фракций компонентов ТБО к дальнейшей переработке.

Предварительная сортировка улучшает и ускоряет процесс ферментации органических веществ ТБО, облегчает очистку продукта ферментации от примесей, снижает потребную производительность весьма дорогостоящего биотермического и термического оборудования, улучшает состав продукта ферментации, шлака и отходящих газов, улучшает процесс сжигания, упрощает газоочистку, т.е. технология комплексной переработки ТБО повышает экологичность и экономичность традиционной термической и биотермической обработки ТБО.

Перераспределяя материальные потоки отходов, сортировка практически вдвое сокращает потребность в дорогостоящем термическом и биотермическом оборудовании. В то же время капитальные затраты на саму сортировку не превышают 15% от затрат на термо- и биообработку.

Иными словами, рациональная сортировка ТБО, покомпонентная и пофракционная, оптимизирует сопряженные производства. В этом ее главное назначение; извлечение тех или иных продуктов для вторичного использования - это важная, но частная задача сортировки.

Не случайно в США с 1992 г. вступил в силу закон, в соответствии с которым запрещается доставка ТБО на свалки и мусоросжигательные заводы без предварительной сортировки.

Весьма показательным также, что Мировой банк, согласно рекомендациям международных экологических организаций, отдает приоритет в кредитовании проектам, связанным с рециклинговыми мусороперерабатывающими технологиями.

### 3. Укрупненная эколого-экономическая оценка промышленных технологий переработки твердых бытовых отходов

В расчетах использованы усредненные данные, полученные на основании предложений правительству Москвы западных фирм в 1991-1992 г.г. - NOEL GMBH, Holter (Германия), KNIM (Франция), EMIT SPA (Италия), ORBICOM GROUP Ltd (Великобритания), а также данные отчета международной ассоциации ISWA (Nov. 1991, Working Group on Waste Incineration), разработки Научно-исследовательского Центра по проблемам управления ресурсосбережением и отходами Госкомэкологии РФ и данные германской фирмы "Berlin-Consult".

Для анализа выбраны современные технологии, которые могут представить интерес для Московского региона: сжигание, компостирование, сортировка и их комбинации.

В качестве исходных данных для анализа технологий переработки ТБО принята условная производительность - 240 тыс. т ТБО в год (завод обслуживает около 1 млн. жителей).

Для сравнительного анализа различных технологий за основу можно принять условные расчетные данные морфологического состава ТБО (например, по данным АКХ им. К.Д.Памфилова, табл. 3.1), поскольку на целый ряд показателей (в первую очередь на капитальные и эксплуатационные затраты) влияет преимущественно производительность и тип завода.

Таблица 3.1

Морфологический состав ТБО

	Компоненты ТБО	Содержание (% по массе)
1	Бумага, картон и т.п.	25-30
2	Пищевые отходы	30-38
3	Черный металлолом	3.0
4	Цветной металлолом	0.5
5	Текстиль	4.0-7.0
6	Стеклобой	5.0-8.0
7	Кожа, резина	2.0-4.0
8	Камни	1.0-3.0
9	Пластмасса	2.0-5.0
10	Дерево	1.5-3.0
11	Кости	0.5-2.0
12	Строительные отходы	1.0-2.0
13	Прочее	
14	Отсев (-15 мм)	7.0-13

Некоторые экономические показатели различных технологий переработки ТБО (по данным европейских фирм, дополненным расчетными данными по комплексной переработке ТБО и расчетными данными по реализации готовой продукции - см. табл. 3.3 и 3.4) приведены в табл. 3.2 (комплексная переработка включает набор трех

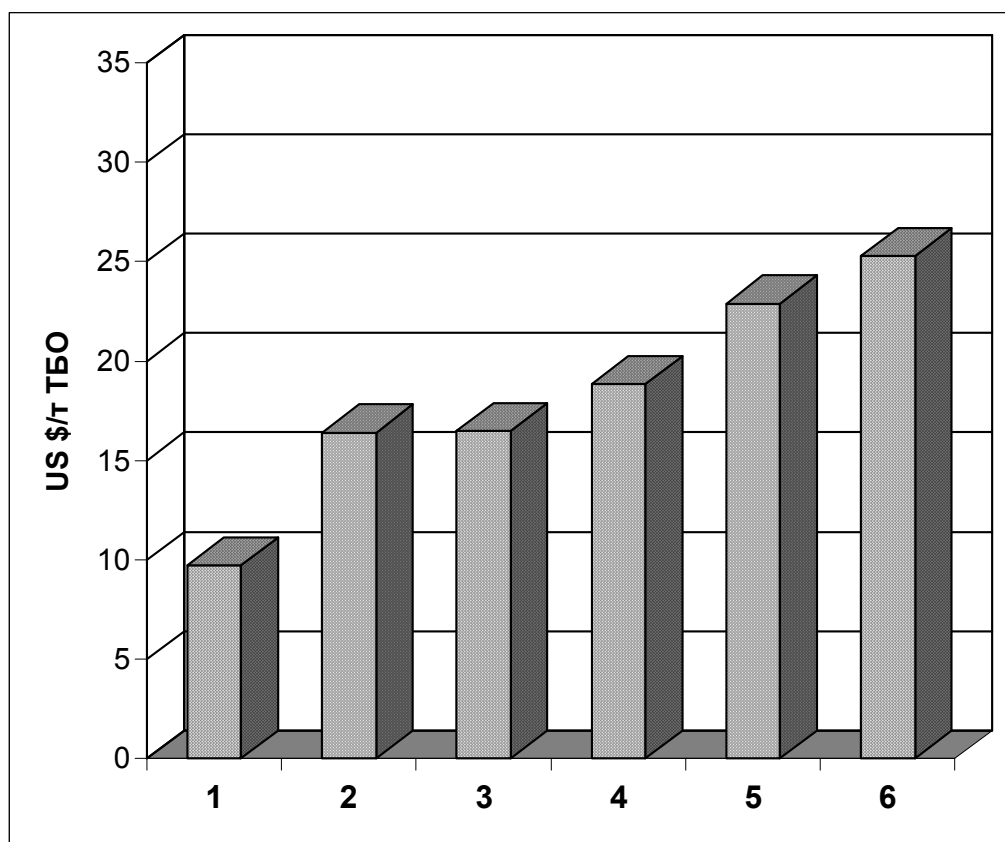
технологий - сортировка, компостирование и сжигание) и на рисунке 3.1 (все расчеты - в дол. США). Выполненные расчеты дают объективную качественную сравнительную оценку различных технологий, их корректно использовать только в рамках поставленной задачи - для сопоставления различных способов переработки ТБО.

Таблица 3.2

Экономическая эффективность  
различных технологий переработки ТБО

Показатели	Технологии					
	Сжигание	Ферментация	Сортировка	Сортировка + сжигание	Сортировка + ферментация	Комплексная переработка
Удельные капитальные вложения (на 1 т ТБО), дол./т	280	90	50	330	100	240
Удельные эксплуатационные затраты (на 1 т ТБО), дол./т	9.6	10	3.2	12.8	8.7	13.5
Неутилизируемая фракция (подлежит захоронению), %	30	30	95	15	55	8
Удельные затраты на захоронение неутилизируемой фракции, дол./т	9	9	28.5	4.5	16.5	2.4
Приведенные капитальные затраты, дол./т	28	9	5	33	10	24
Общие удельные затраты, дол./т	46.6	28	36.7	50.3	35.2	39.9
Суммарная реализация продукции из 1 т ТБО, дол./т	23.7	9.2	11.4	33.9	18.7	30.2
Экономическая эффективность технологии, дол./т	-22.9	-18.8	-25.3	-16.4	-16.5	-9.7

Примечание: Норма амортизационных отчислений условно принята 10% (для всех технологий).  
Удельные затраты на захоронение ТБО приняты 30 дол./т.



**Рис. 3.1. Удельные затраты на переработку ТБО  
(с учетом реализации продукции)**

*1 - комплексная переработка; 2 - сортировка + ферментация; 3 - сортировка + сжигание;  
4 - ферментация; 5 - сжигание; 6 - сортировка.*

Таблица 3.3

**Характеристика продукции, получаемой из ТБО при использовании различных технологий их переработки  
(производительность завода - 240 тыс.т/год)**

Технология	Годовой выпуск продукции	Продукция						
		Черный лом	Олово-содержащий лом	Лом алюминия	Компост	Шлак (шлаковый расплав)	Острый пар	Итого
Сжигание	т	5000					260000 Гкал	
	млн. дол	0.5					5.2	5.7
Сортировка	т	4250	2800	960				
	млн. дол	0.85	1.12	0.768				2.738
Сортировка + сжигание	т	4250	2800	960		40000	260000 Гкал	
	млн. дол	0.85	1.12	0.768		0.2	5.2	8.138
Компостирование	т	6000			100000			
	млн. дол	1.2			1.0			2.2
Сортировка+ компостирование	т	4250	2800	960	50000			
	млн. дол	0.85	1.12	0.768	1.75			4.488
Комплексная переработка	т	4250	2800	960	50000	30000	130000 Гкал	
	млн. дол	0.85	1.12	0.768	1.75	0.15	2.6	7.238

Примечание: При использовании технологии сортировки потенциально возможно выделение стеклобоя, текстиля и пластмассы. Ввиду большой загрязненности этих продуктов и сложности сбыта их реализация в данном расчете не рассматривается.

Таблица 3.4

**Условная базисная оптовая цена единицы продукции  
(к расчету реализации продукции)**

Продукция	Дол. /т
Черный металлолом	200
Оловосодержащий лом	400
Лом алюминия	800
Компост	35
Шлак (шлаковый расплав)	5
Острый пар	20 дол./Гкал

Примечание: Стоимость черного лома, выделенного из ТБО при использовании технологии прямого сжигания, принята равной 100 дол./т (реализуется как "доменный присад").  
Стоимость компоста, полученного по технологии прямого компостирования исходных ТБО, принята равной 10 дол./т.  
Шлак направляется в производство строительных материалов (цена 1 т шлакоцементных блоков 75 дол./т); соответствующий цех должен входить в состав завода, на в данном расчете этот вариант не рассматривается и условно цена шлака принята равной 5 дол./т.

Как следует из приведенных данных, ни одна из технологий не обеспечивает рентабельности производства; как показывает мировая практика, основной доходной



статьей является плата (тариф) за приемку заводом ТБО, которую обеспечивают налогоплательщики как плату за вид коммунальных услуг (50-60 дол./т ТБО). Из приведенных данных также следует, что строительство заводов по технологии сортировки ТБО, их прямого сжигания, а также прямого компостирования экономически наименее целесообразно (для справки: существующие в СНГ заводы используют исключительно технологию прямого сжигания или прямого компостирования исходных ТБО); что касается технологии сортировки ТБО, то ее применение как самостоятельной операции, в отрыве от других технологий, не имеет смысла и, по-видимому, возможно лишь в редких случаях извлечения из ТБО металлов с целью предотвращения их попадания на свалки (например, использование простейшей сортировки на мусороперегрузочных станциях).

В экономическом плане, как следует из рисунка 3.1, наиболее предпочтительны комбинационные технические решения, в особенности комплексная переработка ТБО (комбинация процессов сортировки, термо- и биообработки).

Ниже (табл. 3.5) показано влияние процесса сортировки на перераспределение материальных потоков отходов между термическим и биотермическим переделами в случае комбинации технологий (комплексная переработка ТБО), что является технически целесообразным и обеспечивает повышение экономической и экологической эффективности производства (технология компостирования условно рассчитана на использование биобарабанов, выпускаемых отечественной промышленностью).

Из таблицы 3.5 следует, что в результате сортировки исходных ТБО выход фракции, направляемой на компостирование, составляет около 57% от исходного (137140 т/год при работе 305 дней в году), а фракции, направляемой на сжигание - около 37% (87980 т/год при работе 340 дней в году).

После очистки компоста от примесей в отходы перейдет около 25% материала, поступившего на компостирование, что составит 34285 т за 305 суток работы или 112.4 т/час; эти отходы направляются на сжигание.

Таким образом, в цех термообработки поступает: 87980 т/год (из цеха сортировки) и 34285 т/год (из цеха компостирования), т.е. суммарно 122265 т/год (359.6 т/сут, или около 15 т/час). Иными словами, в случае комплексной переработки на сжигание направляется около 50% от исходных ТБО (вместо 100% при использовании технологии прямого сжигания исходных ТБО). Это обуславливает сокращение потребности в весьма дорогостоящем термическом оборудовании в два раза.

Аналогично сокращается потребность в биобарабанах для установки в цехе компостирования. Так, при отсутствии сортировки для прямого компостирования исходных ТБО (практика заводов СНГ) в количестве 240 тыс.т/год (786.8 т/сут при работе в три смены 305 дней в году) потребовалась бы установка 11 биобарабанов марки КМ101А диаметром 4 м и длиной 36 м (полезный объем 300 м<sup>3</sup>); в соответствии с данными практики Нижегородского завода годовая производительность одного барабана составляет 21.5 тыс. т или 71 т/сут, т.е. общая потребность в биобарабанах составляет  $786.8:71=11$ . При использовании технологии

Таблица 3.5

**Ориентировочный материальный баланс процесса сортировки ТБО**  
 (цех работает 340 дней в году, по 12 часов в сутки, при этом  
 поступает исходных ТБО: 240 тыс.т/год, 705 т/сут, около 60 т/час)

Наименование продуктов	Содержание в исходном, %	Выход			
		Извлечение, %	%	т/год	т/сут
Черный металлолом (включая оловосодержащий)	3.0	98	2.94	7056	20.75
Цветной металлолом	0.5	80	0.4	960	2.82
Легкая фракция (на сжигание)	30.0	45	13.5	32400	95.29
Текстильные компоненты (на сжигание)	6.0	80	4.8	11520	33.88
Крупногабаритные компоненты (на сжигание)	2.0	90	1.8	4320	12.7
Балластные компоненты (стеклобой, батарейки и др. отходы)	7.0	40.0	2.8	6720	17.76
Механические потери с крупногабаритной фракцией (на сжигание)	-	-	10.0	24000	70.58
Потери (влага, пыль)	-	-	0.06	144	0.42
Обогащенная органическая фракция ( на компостирование)	-	-	63.7	152880	449.64
Реальное количество обогащенной органической фракции, принимаемое цехом компостирования при работе 305 дней в году	-	-	57.14	137140	449.64
На сжигание из цеха сортировки (суммарно за 340 дней)			36.65	87980	258.76
Итого:	-	-	-	24000	705

Примечание: Показатели извлечения соответствуют данным промышленно-экспериментальных испытаний технологии сортировки ТБО на МПО "Полимер" (Москва).

комплексной переработки на компостирование направляется 137140 т/год обогащенной фракции ТБО ( $449.6:71=6$ ), т.е. почти в два раза меньше (даже без учета увеличения плотности обогащенной фракции по сравнению с исходными ТБО)<sup>х)</sup>.

На примере этого простого расчета наглядно выявляется эффективность первичной сортировки как подготовительной операции в процессе комплексной переработки ТБО (по существу технология комплексной переработки является универсальной, т.к. мало зависит от состава исходных ТБО).

Для научно-обоснованного выбора той или иной технологии необходимо учитывать не только экономические, но и экологические факторы, поскольку конечные продукты переработки и отходы производства не должны наносить вред окружающей среде (при этом ценные компоненты ТБО должны быть максимально использованы).

Наибольшее экологическое влияние на окружающую среду оказывают технологии прямого компостирования исходных ТБО, их прямого сжигания и, как ни странно - технология сортировки, если ее рассматривать как самостоятельный процесс (большое количество отходов, загрязненность готовой продукции, сложность реализации продукции и др.).

При применении технологии прямого сжигания исходных ТБО, без какой-либо их подготовки и обработки, с условием соблюдения общеевропейских требований по выбросам загрязнений в воздух, годовое количество газа при сжигании 240 тыс. т/год ТБО составит около 900 млн. м<sup>3</sup>/год, при этом выбросы пыли не превысят 20 т/год, а общее количество тяжелых металлов - 4.5 т/год.

Выбросы тяжелых металлов как основных токсичных ингредиентов можно уменьшить за счет предварительной сортировки ТБО с извлечением черных и цветных металлов. По данным зарубежных исследований, предварительная сортировка ТБО на порядок снижает содержание тяжелых металлов в отходящих газах и является важнейшим первичным мероприятием по уменьшению токсичных выбросов.

В случае комбинации процессов "сортировка + сжигание" в термообработку ориентировочно будет поступать 200 тыс.т/год отходов, при этом в дымовых газах объемом 750 млн. м<sup>3</sup>/год выбросы пыли не превысят 16 т, а выбросы тяжелых металлов - 500 кг.

При использовании технологии прямого сжигания ТБО наряду с дымовыми газами образуются также шлак (около 55 тыс.т/год) и летучая зола (около 8 тыс.т/год); ввиду повышенного содержания в шлаке тяжелых металлов его утилизация весьма затруднительна.

При использовании технологии "сортировка + сжигание" количество шлака снижается до 45 тыс.т/год, а золы - до 6.5 тыс.т/год, причем шлак может и должен вовлекаться в промышленную переработку (производство строительных материалов по известным технологиям).

---

<sup>х)</sup> В случае установки биобарабанов длиной 60 м требуется 7 барабанов для реализации технологии прямого компостирования и всего 4 барабана в случае комплексной переработки ТБО.

Основной недостаток использования технологии прямого компостирования исходных ТБО, без их предварительной сортировки и подготовки: большое количество (не менее 70 тыс.т/год) отходов, подлежащих складированию на полигоне, и весьма низкое качество готового продукта - компоста (компост имеет плохой товарный вид, сбывается с трудом и отличается, по данным многочисленных исследований, повышенным содержанием тяжелых металлов). Улучшение качества компоста связано с применением технологии сортировки ТБО перед компостированием (а также с совершенствованием технологии доочистки компоста от примесей).

Недостатки каждого метода переработки ТБО нивелируются, если промышленную технологию строить по принципу комбинации отдельных методов переработки ТБО. Объединяющим процессом при этом является сортировка (в том числе на основе селективного сбора), изменяющая качественный и количественный состав ТБО.

Предварительная сортировка улучшает и ускоряет процесс компостирования органических веществ ТБО, облегчает очистку компоста от примесей, снижает требуемую производительность оборудования для термической и биотермической обработки ТБО, улучшает состав отходящих газов, облегчает ведение процесса термообработки в оптимальном режиме (способствует стабилизации процесса сжигания).

При использовании технологии комплексной переработки в термообработку поступают не исходные ТБО, а их обогащенная фракция, из которой в основном удалены металлы, причем масса обогащенной фракции в два раза меньше, чем исходных ТБО. Отсюда резко снижается экологическое влияние дымовых газов: их объем уменьшается до 450 млн.м<sup>3</sup>/год, а годовые выбросы пыли не превысят 10 т и тяжелых металлов - 250 кг (фактически выбросы металлов будут значительно ниже).

Количество золы, образующейся в процессе комплексной переработки ТБО при очистке дымовых газов, составляет около 4 тыс.т/год. Этот тип отходов является токсичным, но в настоящее время разработаны методы его обезвреживания не только с целью захоронения, но и последующей утилизации (например, путем переработки золы в инертный стекловидный остаток, который может использоваться в дорожном строительстве, в качестве добавок к бетону, для струйной очистки изделий и т.п.).

Таким образом, по "экологичности" отходов промышленные технологии можно расположить в два параллельных ряда (качественная оценка): технологии с использованием термических методов и без использования термических методов.

Технологии, использующие термические методы, в порядке возрастания отрицательного экологического влияния легко располагаются в ряд:

- комплексная переработка;
- сортировка + сжигание;
- сжигание.

Соответственно технологии, не использующие термические методы, располагаются в ряд:

- компостирование;
- сортировка + компостирование;
- сортировка.

Сложнее совместить эти два ряда. Так, технология прямого компостирования предпочтительна с точки зрения отсутствия загрязнения атмосферы, но она связана с образованием большого количества отходов (30%). В то же время при использовании комплексной переработки ТБО, количество вывозимых отходов составляет 3-8%, но теоретически (хотя и маловероятно) существует разовая экологическая опасность от промышленных выбросов (долговременная экологическая опасность исключена). Поэтому по воздействию на окружающую среду обе технологии условно можно расположить в один ряд, тогда все технологии располагаются следующим образом:

- 1-2) комплексная переработка и компостирование;
- 3-4) сортировка + сжигание и сортировка + компостирование;
- 5) сжигание;
- 6) сортировка.

С точки зрения "экологичности" готовой продукции все технологии, за исключением технологии прямого компостирования исходных ТБО и их сортировки, практически равноценны, т.к. удовлетворяют требованиям действующих стандартов.

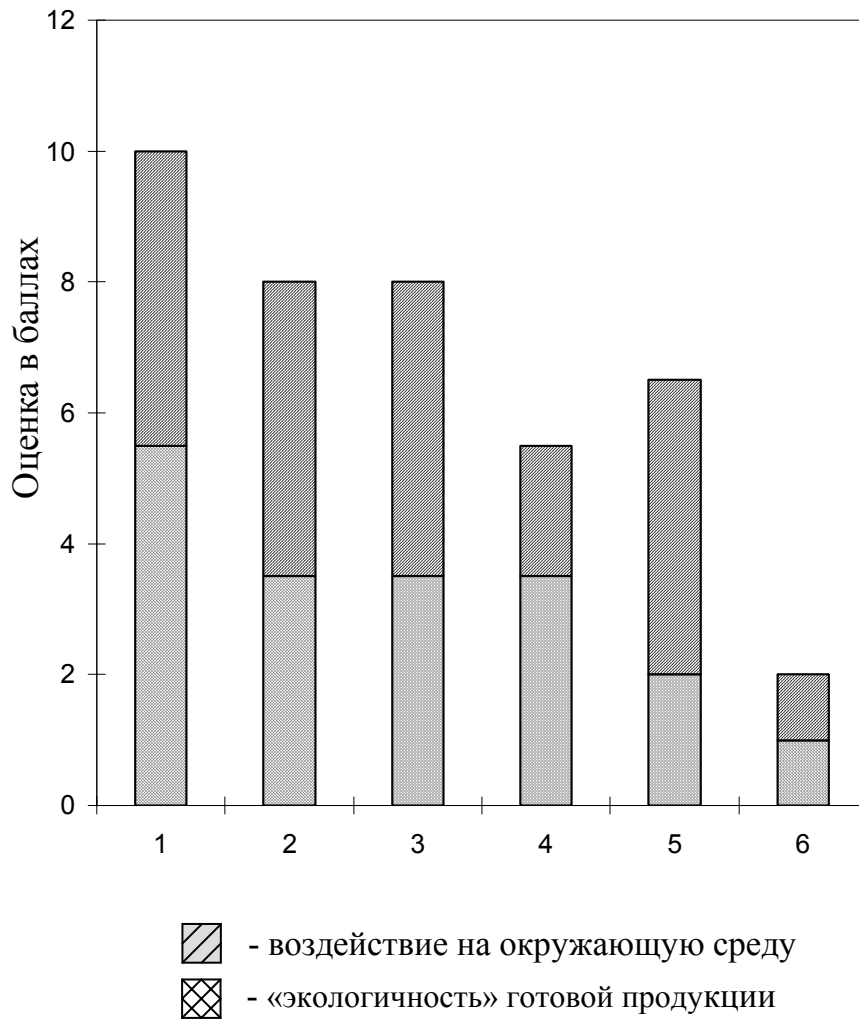
Как отмечено, по технологии прямого компостирования исходных ТБО получается компост весьма низкого качества, а по технологии сортировки - низкосортные (не считая металлов) продукты, реализация которых проблематична, вследствие чего эти две технологии являются наименее перспективными.

Поскольку по "экологичности" готовой продукции остальные технологии условно можно считать равноценными, все технологии можно расположить в следующий ряд:

- 1-4) комплексная переработка;  
сортировка + компостирование;  
сортировка + сжигание;  
сжигание.
- 5) компостирование;
- 6) сортировка.

Для суммарной оценки технологии переработки ТБО были оценены по шестибальной системе (1-е место - 6 баллов, 2-е место - 5 баллов и т.д.) в обоих приведенных рядах. В случае разделения мест сумма баллов за эти места распределялась поровну (например, в случае деления 1-го и 2-го мест обе технологии получают по 5.5 балла). Суммарная оценка в баллах технологий переработки ТБО приведена на рисунке 3.2, из которого следует, что технологии располагаются практически в тот же ряд, что и по экономическим показателям.

Таким образом, анализ показывает, что современным экономическим и экологическим требованиям в наибольшей степени *соответствует технология комплексной переработки ТБО* (комбинация процессов сортировки, термо- и биообработки).



**Рис. 3.2 Экологическая оценка методов переработки ТБО**

*1 - комплексная переработка; 2 - сортировка + ферментация; 3 - сортировка + сжигание; 4 - ферментация; 5 - сжигание; 6 - сортировка*

#### **4. Обоснование выбора оптимальных технологий для проектирования и строительства заводов по комплексной переработке ТБО**

Как показывает аналитическая и эколого-экономическая оценка, оптимальными для переработки ТБО являются комбинационные технические решения (комплексная переработка). Для реализации планомерной научно обоснованной технической, организационной и экономической политики создания заводов по комплексной переработке ТБО необходимо выбрать оптимальные комбинационные технические решения для проектирования и строительства каждого завода, исходя из уровня мировой техники, маркетинговых условий, стоимостных показателей, степени отработанности и готовности технологии к промышленному применению и возможности их адаптации к российским условиям.

На выбор рациональной технологии переработки ТБО влияют следующие факторы:

- финансовые возможности заказчика;
- заданная производительность;
- морфологический состав ТБО;
- число компонентов, входящих в состав ТБО, которые в данных технико-экономических условиях представляют практическую ценность и должны извлекаться в самостоятельный продукт (очевидно, это, в первую очередь, черный металлолом, оловосодержащий лом, лом алюминия), наличие потребителей этой продукции;
- требования, предъявляемые к продуктам переработки;
- число компонентов, которые являются опасными и должны быть удалены из ТБО либо по экологическим соображениям, либо исходя из требований процессов дальнейшей обработки (к опасным компонентам относятся в первую очередь отработанные люминесцентные лампы и сухие гальваноэлементы - батарейки);
- требования по соблюдению экологических и санитарно-гигиенических норм;
- размер промплощадки, выделяемой под застройку.

Поскольку проект нового завода должен учитывать все лучшие мировые достижения в области переработки отходов, на основе тщательного изучения мировой практики и разработок ведущих фирм необходимо выбрать последние поколения различных технологических процессов как составной части комбинированной технологии.

##### **4.1. Оценка и выбор технологий для термической обработки, обезвреживания и утилизации ТБО**

Для выбора оптимального метода термической обработки ТБО необходимо сравнение имеющихся технологий по следующим критериям:

- экономическим (уровень капитальных и эксплуатационных затрат);

- технологическим (уровень развития и апробации технологии, надежность оборудования, степень автоматизации процесса, эксплуатационные характеристики, требования безопасности, необходимость подготовки отходов и использования дополнительного сырья- топлива, других компонентов, производство товарной продукции);
- экологическим (количество и токсичность отходов и газовых выбросов, возможность их обезвреживания и утилизации).

Кроме этого, следует учесть возможность изготовления оборудования в России, а также квалификационные требования к обслуживающему персоналу, обусловленные особенностями той или иной технологии.

В табл. 4.1 приведена сравнительная оценка технологий термической переработки ТБО (по данным отчета фирм “GKW Consult” и “East Consult” “Исследование потенциала энергосбережения и общего воздействия на окружающую среду в г. Москва современных методов переработки твердых бытовых отходов”- проект ТАСИС/1991/ERU 0020, финальный отчет, март 1996 г.). Кроме данных из этого отчета, в таблице приведена оценка (по той же методике) российской технологии газификации горючей фракции ТБО (разработана Институтом химической физики РАН, Черноголовка).

Сущность методики заключается в том, что для сравнительной оценки технологий выделены критерии, каждому из которых присвоен фактор приоритета (величина от 10 до 50). Оценка в баллах определяется как произведение фактора приоритета и коэффициента (его величина меняется от -1 до +1), характеризующего достоинства или недостатки той или иной технологии с точки зрения отдельных критериев. Например, для критерия “уровень развития технологии” фактор приоритета принят равным 50; коэффициент для технологии слоевого сжигания составляет +1 (технология хорошо отработана, оборудование производится серийно). Оценка в баллах по этому критерию для технологии слоевого сжигания составляет 50 баллов.

Из приведенной в табл. 4.1 оценки термических методов переработки отходов следует, что наиболее предпочтительными из них являются слоевое сжигание на колосниковых решетках, сжигание в кипящем слое и отечественная технология газификации. Методы слоевого сжигания на колосниковых решетках и сжигания в кипящем слое имеют преимущество перед другими методами обработки ТБО по группе общих критериев: высокий уровень апробированности технологий, серийно выпускаемое оборудование, высокий гарантийный срок эксплуатации (не менее 15 лет), относительно низкие затраты и др. Вместе с тем эти технологии уступают высокотемпературным технологиям обработки ТБО (прежде всего отечественной технологии газификации и процессу “Сименс”) по энергетическим и экологическим критериям. Отечественная технология газификации выглядит предпочтительнее других методов термической обработки ТБО по стоимости оборудования, экологическим критериям, но уступает по одному из самых важных критериев - уровню промышленного развития технологии. При условии, что эта технология будет освоена в промышленном масштабе, она является весьма перспективной.



Таблица 4.1

## Сравнительная оценка технологий термической переработки ТБО

Критерии Оценки	Макс. возм. сумма баллов	Термические Технологии					
		Слоевое сжигание	Кипящий слой	Шлаковый расплав	Электрошлаковый расплав	Коксование+сжигание (Сименс)	Газификация (российская технология)
<b>1. Общие критерии, в том числе:</b>	<b>265</b>	<b>235</b>	<b>150</b>	<b>-125</b>	<b>-90</b>	<b>35</b>	<b>80</b>
-Уровень развития технологии	50	50	40	-50	-50	0	0
- Гарант. срок эксплуатации	30	30	30	0	0	30	30
- Относительная суммарная стоимость оборудования	30	0	0	-30	-30	-30	15
-Необходимость подготовки ТБО	30	30	-15	30	30	-30	-30
- Необходимость дополнительного топлива (при теплотв. способности ТБО 6250 кДж/кг)	20	20	20	20	20	20	20
- Необходимость дополнительных компонентов (флюсов, теплоносителей)	25	25	-5	-25	-25	-10	-10
- Пусковой период	20	20	20	-20	-20	20	20
-Ремонтопригодность	25	25	25	-25	-25	0	0
- Взрыво-, пожаробезопасность	25	25	25	-25	0	25	25
- Диапазон рабочих нагрузок	10	10	10	0	10	10	10
<b>2. Производство энергии и материалов, в том числе:</b>	<b>115</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>105</b>	<b>85</b>
- Производство тепловой энергии	20	20	20	20	20	20	20
- Соответствие гост “котлы паровые стационарные для сжигания ТБО”	10	10	10	10	10	10	10
- Производство электрической энергии	15	15	15	15	0	15	15
- Разность между производимой и потребляемой энергией	30	30	30	-30	-30	30	30
- Дополнительное производство энергоносителей в производственном цикле	20	0	0	0	0	10	10
- Получение товарной продукции	20	0	0	20	20	20	0
<b>3. Экологические критерии, в том числе:</b>	<b>185</b>	<b>20</b>	<b>45</b>	<b>140</b>	<b>127,5</b>	<b>105</b>	<b>115</b>
- Наличие отдельных систем сбора и удаления шлака и золы	15	-15	-15	15	15	15	15
- Возможность утилизации шлака	15	15	15	15	15	15	15
- Возможность обезвреживания золы	20	-20	-20	20	20	20	20
- Удельный объем дымовых газов	25	0	10	25	12,5	15	20
- Возможность подавления вредных примесей	90	20	35	45	45	20	25
- Утечка запаха	20	20	20	20	20	20	20

<b>4. Прочие критерии, В том числе:</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
- Дополнительные требования к персоналу	15	0	0	-15	-15	0	0
- Возможность изготовления оборудования в России	20	10	10	20	20	10	20
<b>Итого</b>	<b>600</b>	<b>340</b>	<b>280</b>	<b>55</b>	<b>62,5</b>	<b>255</b>	<b>300</b>

Таким образом, в мировой практике наиболее отработана технология слоевого сжигания, требующая наименьшей подготовки отходов к процессу и весьма перспективная для термообработки обогащенной (горючей) фракции ТБО. При выборе печей слоевого сжигания предпочтение следует отдать простым, надежным и удобным в эксплуатации переталкивающим решеткам германской фирмы “Штайнмюллер”, по проектам которой в последние годы построено более 20 заводов в различных странах; в настоящее время фирма “Штайнмюллер” готовит для представления в Правительство Москвы развернутое техническое предложение по комплексной переработке ТБО. Из разработок других фирм заслуживают внимания переталкивающие решетки фирмы “Нойль” (Германия), “Мартин” (Германия) и “Фостер Уилер” (США). По данным практики европейских заводов, наиболее часто используются котлоагрегаты производительностью 5-15 т/час (реже - производительностью 16-23 т/час).

Печи для сжигания ТБО в кипящем слое (стационарном, вихревом или циркулирующем) обеспечивают наилучший режим теплопередачи и перемешивания обрабатываемого материала и по этим характеристикам превосходят котлоагрегаты с переталкивающими решетками; кроме того, аппараты кипящего слоя не имеют движущихся частей или механизмов. Однако необходимость обеспечения режима псевдооживления обрабатываемого материала накладывает ограничение на его гранулометрический и морфологический состав, а также на его низший калорийный потенциал; в ряде случаев, процесс сжигания в кипящем слое (особенно в циркулирующем кипящем слое) оказывается более дорогим, чем слоевое сжигание. Ведущие фирмы в области сжигания в кипящем слое: “Лурги” (Германия), “Эбара” (Япония), “Фостер Уилер” (США). Технология японской фирмы “Эбара” реализована на нескольких десятках японских заводов; в европейских странах эта технология распространена под названием “Rowitec”; аналогичная система известна под названием “Rugoflow” (фирмы “Альстрем Машинери”, Германия, и “Сюиз Перлен”, Швейцария). Сжигание в кипящем слое заложено в проекты заводов по комплексной переработке ТБО “Руднево” (Москва) и “Тимохово” (Московская область).

Как отмечено, из новых термических процессов, апробированных в укрупненном масштабе, весьма перспективны процессы, связанные с газификацией отходов, так как сжигание газа является наиболее экологически чистым способом сжигания, не требующим сложной очистки отходящих газов. В настоящее время технология газификации (производство синтез-газа для высокоэффективного энергетического использования) заложена в проекты нескольких строящихся заводов в Германии и одного завода в Финляндии (по российской технологии). Комплексная переработка ТБО с включением в технологическую схему операции газификации предложена для Москвы фирмой “Асахи Джукен” (Япония). Ведущими в области создания и отработки технологии газификации являются фирмы “Термоселект”

(Италия), “Лурги” и “Нойль” (Германия), а также Институт химической физики РАН в Черногоровке.

По предварительной оценке, отечественная технология паро-воздушной газификации по эффективности, экономическим показателям и эксплуатационным характеристикам превосходит зарубежные аналоги:

- не требует подвода кислорода;
- не требовательна к режиму пуск-остановка (технология не связана с получением шлакового расплава в реакторе газификации);
- имеет более высокий энергетический КПД.

В 1998-99 гг. выполнена промышленно-экспериментальная отработка новой российской технологии по переработке ТБО города с населением около 30 тыс. человек в Финляндии.

Технологии газификации (как и технологии сжигания в кипящем слое) могут быть реализованы только при комплексной переработке ТБО, так как предъявляют определенные требования к составу, крупности и теплотворной способности сырья.

Все термические методы переработки отходов являются экологически безопасными при использовании современных методов газоочистки. Количество и состав дымовых газов, образующихся при термической обработке ТБО, зависят от состава отходов и режима процесса. Так, при слоевом сжигании из 1 т ТБО образуется 5-6 тыс. м<sup>3</sup> газов, при газификации отходов - 600 м<sup>3</sup> газов.

По сравнению с ТБО, образующимися в зарубежных промышленно развитых странах, в российском мусоре доля хлор-, фтор- и серусодержащей органики в настоящее время сравнительно невысока, и, соответственно, в дымовых газах, образующихся при сжигании отходов, содержится в несколько раз меньшее количество таких вредных веществ, как HCl, HF и соединения серы.

По расчетам, двух-трехстадийная газоочистка при переработке московских ТБО должна обеспечить состав отходящих газов, удовлетворяющий действующим стандартам.

В РФ отсутствует опыт практической реализации современных технологий газоочистки. Для решения вопросов газоочистки представляется целесообразным практическое взаимодействие с ведущими в этой области европейскими фирмами (“АББ”, “Лурги”, “Штайнмюллер”).

#### **4.2. Оценка и выбор технологий для биотермической обработки, обезвреживания и утилизации ТБО**

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к промышленным методам биотермической переработки отходов. Это связано с общей тенденцией развития переработки ТБО к получению отдельных фракций ТБО (на основе отдельного сбора или на заводах по комплексной переработке ТБО) и переработки каждой фракции наиболее оптимальным способом. Таким способом для фракции, обогащенной пищевыми и растительными отходами, является биотермическая аэробная переработка (термическая переработка этих отходов затруднена из-за большой влажности, а захоронение связано с неконтролируемым образованием фильтрата и биогаза). В ходе процесса биотермической переработки происходит разложение органического вещества, снижение влажности исходного продукта, уничтожение

большинства болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и личинок мух. Биотермические методы могут использоваться как для получения отдельных видов продукции (компост), так и для получения полупродуктов (стабилизированная органическая фракция для использования в качестве топлива, сырья для производства спирта, строительных материалов).

В ходе аэробной ферментации происходит разложение органической части отходов с выделением воды и углекислого газа и твердого остатка - компоста (если процесс ферментации доведен до конца). По этой причине этот процесс часто называют компостированием, хотя правильнее называть его ферментацией. В промышленности наиболее распространены три метода аэробной ферментации:

- компостирование (ферментация) в биобарабанах;
- туннельное компостирование (ферментация);
- компостирование (ферментация) в бассейне выдержки.

Краткая сводка статистических сведений по европейским заводам, использующим названные технологии, приведена в табл. 4.2 (по данным 1995 г., опубликованным в ISWA Yearbook 1995/6, стр. 52-53; в отдельной графе приводятся сведения по установкам, вошедшим в эксплуатацию в 1992-95 гг.).

Таблица 4.2

Характеристика распространенности различных типов ферментации, используемых в промышленных технологиях переработки ТБО

Метод ферментации (компостирования)	Показатели	Всего на 1995 г.	Введены в 1992- 95 гг.
В биобарабанах	число заводов	36	10
	мощность	около 1 млн. т	360 тыс. т
Туннельное компостирование	число заводов	38	21
	мощность	около 1,5 млн. т	около 1 млн. т
В бассейне выдержки	число заводов	35	29
	мощность	около 2 млн. т	1,75 млн.т

Из данных табл. 4.2 отчетливо видна тенденция перехода от компостирования в биобарабанах к компостированию в туннеле и бассейне выдержки (доля отходов, переработанная с использованием ферментации в биобарабанах на заводах, введенных в строй в 1992-95 гг., составляет всего 11,6%; на долю ферментации в бассейне выдержки приходится 56,3%; на долю туннельного компостирования - соответственно 32,1%). Из 60 построенных в 1992-95 гг. заводов (цехов по ферментации) биобарабаны установлены всего на 10.

Целый ряд зарубежных фирм отказался от технологии компостирования в биобарабанах и перешел на новые технологии. В то же время в СНГ с 1971 г. практикуется компостирование только в биобарабанах.

В этой связи совершенно ошибочным и неправильным следует считать представленный в Правительство Москвы проект комплексной республиканской программы "Строительство заводов переработки и утилизации твердых бытовых отходов в Российской Федерации в период 1997-2005 гг.", ориентирующий на проектирование и строительство заводов по отсталой технологии компостирования.

Не выдерживает критики и концепция, пропагандирующая отсталую технологию (см. приложение 1-3).

Основные недостатки ферментации в биобарабанах:

- бесконтрольность процесса;
- плохой товарный вид конечной продукции (сложность очистки материала, выходящего из биобарабана, из-за его большой влажности);
- эксплуатационные сложности (образование “пробок” из текстиля, в весенне-осенний период биобарабаны текут, и пр.);
- сильная загрязненность черного металла, выделяемого из компоста (при отсутствии сортировки ТБО перед компостированием);
- потребность большой площади для дозревания компоста (по существу, за двое суток процесс ферментации только начинается, и потеря массы биоразлагаемого вещества на выходе из биобарабана не превышает 3-4%);
- невозможность, в соответствии с отечественной практикой, эксплуатации завода более 260 дней в году (замедленное дозревание компоста на открытом воздухе в зимний период, сложность сбыта продукции и пр.).

Все недостатки, присущие технологии ферментации в биобарабанах, становятся преимуществом альтернативных технологий - ферментации в бассейне выдержки и в туннеле. Отличие этих двух технологий друг от друга состоит в том, что в бассейне выдержки материал находится 4-6 недель, а в туннеле - 7-10 дней. Соответственно в бассейне выдержки процесс ферментации полностью заканчивается с получением сухого стабилизированного продукта (потеря массы вещества - 50%), а в туннеле получается полупродукт (потеря массы исходного вещества - 20-30%, влажность - 30%). Вместе с тем, во всех случаях, когда не предполагается получение конечного продукта в виде компоста для сельскохозяйственного использования, предпочтительнее применять ферментацию обогащенной органической фракции в туннеле, рассматривая эту технологию как ферментативную сушку, обеспечивающую одновременно обезвреживание, измельчение и гомогенизацию материала. Материал после туннельного компостирования в большей степени обогащен углеродом, чем после ферментации в бассейне выдержки, что предпочтительно для последующих процессов термической переработки (сжигание, газификация и др.).

При сопоставимой производительности, капитальные затраты на строительство цеха ферментации в бассейне выдержки в 2-3 раза выше, чем при туннельном компостировании.

Выбор той или иной технологии определяется в каждом конкретном случае и зависит от производительности завода, целей и задач переработки ТБО и ряда других факторов.

#### **4.3. Оценка и выбор технологий для рациональной сортировки ТБО (подготовка к комплексной переработке)**

Как отмечено, ТБО представляют собой гетерогенную смесь органических и неорганических компонентов сложного морфологического состава (черные и цветные металлы, макулатура, текстильные компоненты, стекломой, керамика, пластмасса,

пищевые и растительные отходы, камни, кости, кожа, резина, дерево, уличный смет и пр.), многие из которых, в частности, металлы, попадают в категорию отходов после разового использования.

Обогащение твердых бытовых отходов имеет свою специфику в выборе как процессов, так и аппаратов. Даже процессы, идентичные для других объектов обогащения, применительно к ТБО характеризуются своим режимом, имеют отличительные детали и особенности. В то же время некоторые устройства и технологические приемы, используемые при обогащении ТБО, могут быть применены при обогащении ископаемого сырья.

Число обогатительных операций, их вид и последовательность в технологической схеме зависит от морфологического и гранулометрического состава, влажности отходов, определяется задачами сортировки в каждом конкретном случае и закономерностями обогащения сырьевых материалов.

Обобщение опыта промышленной практики сортировки ТБО показывает, что качество выделяемых при механизированной сортировке продуктов, за исключением металлов, ниже, чем при ручной сортировке, вследствие чего макулатура (в составе легкой фракции), стекломой и др. сбываются с трудом. С этих позиций, а также с учетом реальной ценности материала и условий рынка, в качестве основных полезных компонентов ТБО при использовании механизированной сортировки следует рассматривать в основном черные и цветные металлы, содержание которых в ТБО постоянно возрастает (ежегодно в российские ТБО попадает и безвозвратно теряется около 1,5 млн. т стали и около 300 тыс. т цветных металлов). Металлы необходимо выделять также и по той причине, что они не должны попадать в процессы сжигания и ферментации.

Исходя из этого, в общем случае рациональная схема механизированной сортировки ТБО должна предусматривать:

- извлечение в самостоятельные продукты черных и цветных металлов;
- разделение потока отходов на две фракции - горючую и биоразлагаемую (соответственно для термообработки, биообработки или захоронения);
- удаление опасных и части балластных компонентов.

Сравнение и выбор технологических схем сортировки ТБО по критериальной оценке затруднены, так как не все схемы имеют одинаковое целевое назначение и не в равной степени учитывают закономерности обогащения сырьевых материалов (например, имеются единичные случаи нарушения известного в практике обогащения принципа “не дробить ничего лишнего”, когда дроблению подвергают всю массу исходных ТБО, что ухудшает эффективность последующей сепарации и увеличивает затраты, не давая при этом никаких очевидных преимуществ).

В зарубежной практике сортировка ТБО наиболее часто начинается с операции грохочения; отдельные классы крупности этой операции обогащаются отдельно тем или иным методом, что в итоге дает определенный технологический эффект (повышение извлечения, чистоты разделения). В то же время отечественный опыт показывает, что установка барабанного грохота в начале процесса нецелесообразна, так как его отверстия легко забиваются текстильными и влажными компонентами (практика московского спецзавода №1, промышленные испытания грохота в условиях Минского мусороперерабатывающего завода). Аналогичные сложности отмечаются

при грохочении исходных ТБО по классу 70-100 мм на заводах во Франции и Швейцарии.

Учитывая специфичность отечественных ТБО, механический перенос западных технологий сортировки в российские условия не является оптимальным решением. Любая западная технология должна быть адаптирована к российским условиям с учетом технологических свойств ТБО, отмеченных выше.

Ниже рассмотрены и проанализированы технологические схемы сепарации ТБО ведущих зарубежных фирм, нашедшие за последние 10 лет практическое применение на заводах в различных странах.

На рис. 4.1 приведена технологическая схема сортировки ТБО фирмы “Orfa” (Швейцария). Технология сортировки по этой схеме отработана в Швейцарии на экспериментальном заводе производительностью 4 т/час и продана в четыре страны - Японию (где уже построен опытный завод), Испанию, Чехию и Польшу; в 1997 г. технология предложена Правительству Москвы для решения проблемы переработки ТБО. Примерная стоимость оборудования для сортировки ~35 млн. \$ (производительность 250 тыс. т/год).

Цель рассматриваемой технологии - переработка ТБО только методами сепарации, без использования каких-либо иных методов. Сущность технологии заключается в дроблении всей массы исходных ТБО до крупности менее 120 мм, магнитной сепарации дробленого продукта, грохочении немагнитной фракции по классу 10 мм с последующим дроблением крупной фракции до размера менее 10 мм и сушкой всего материала до воздушно-сухого состояния (влажность - 5%).

Из высушенных мелкодробленых отходов с применением различных методов обогащения (магнитная и электрическая сепарация, аэросепарация, грохочение, гравитационная сепарация) выделяют два готовых продукта (черные металлы и алюминий) и три полупродукта: легкая фракция, в которой сконцентрированы бумага и полимерная пленка, и две тяжелые - стекло, керамика и камни в одной, пластмассы, резина и дерево в другой.

По данным фирмы “Orfa”, легкую фракцию целесообразнее всего использовать в производстве стройматериалов (как добавку в ДСП и как заменитель целлюлозы в производстве гипсоволокнистых материалов); возможно ее использование для производства удобрения (с введением специальных добавок), связующего для сбора нефти при разливах (лицензированный продукт), брикетированного топлива и др.

Круг возможной реализации тяжелых фракций ограничен: инертные материалы (стекло, камни, керамика) можно использовать в технологии свалки или в дорожном строительстве, а фракцию, содержащую пластмассу, резину и дерево - в производстве стали или для изготовления покрытия для полов.

Из выделяемых для реализации материалов (крупностью менее 10 мм) проблему для продажи не представляют лишь черные и цветные металлы; все остальные

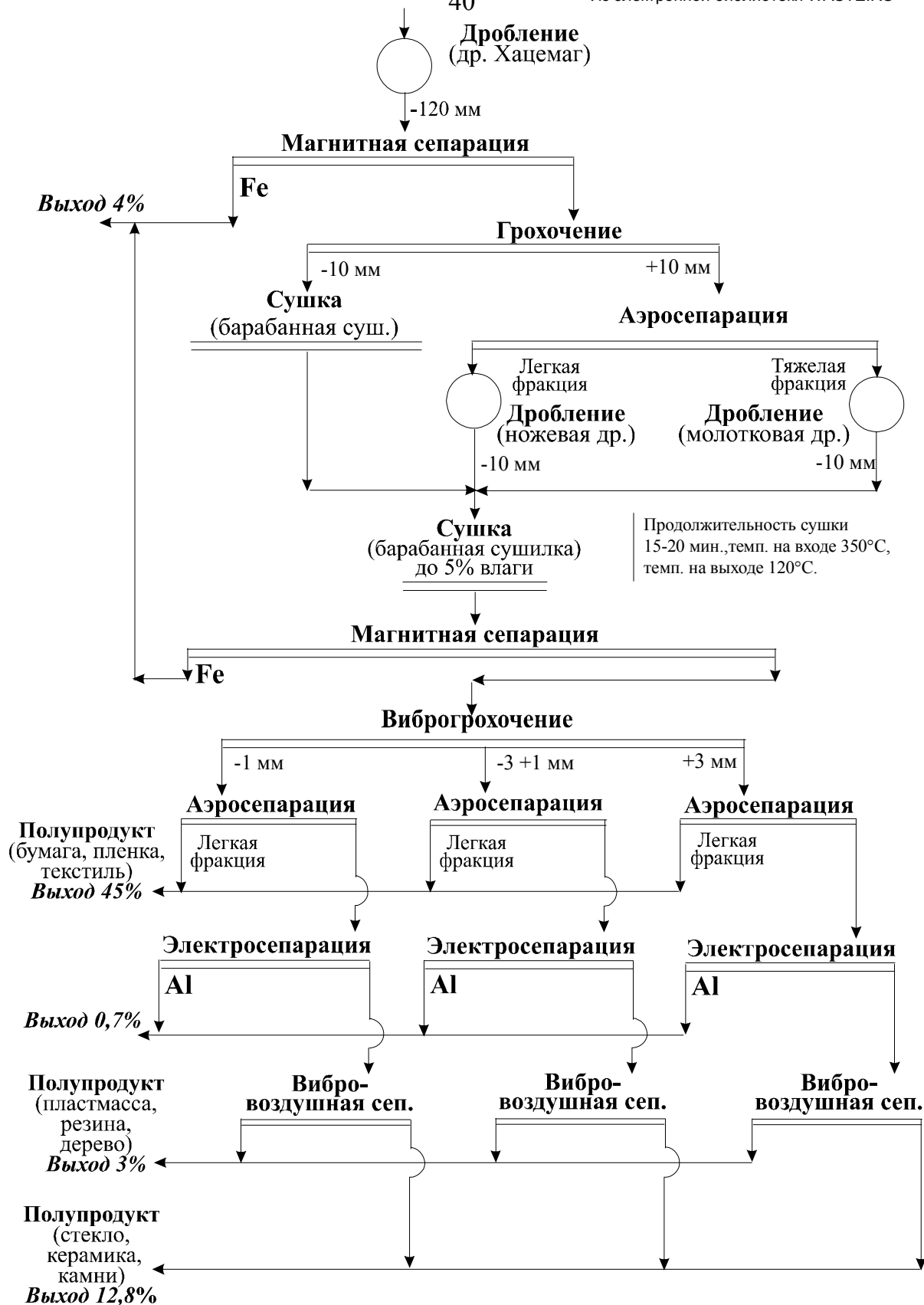


Рис. 4.1. Технологическая схема сортировки ТБО фирмы "Орфа" (Швейцария)



компоненты, сконцентрированные в трех фракциях (их суммарный выход около 60%), вовлечь в повторную переработку значительно сложнее. Поэтому технология фирмы “Orfa” вне связи с другими методами переработки отходов (термическими, биотермическими) интереса не представляет.

К числу очевидных недостатков технологии относится дробление всей массы исходных ТБО до получения тонкой (-10 мм) фракции и, как следствие, высокий расход энергии (установочная мощность оборудования на заводе производительностью 240 тыс. т/год составляет более 6000 кВт). С технологической стороны дробление всей массы ТБО не оправдано (по данным фирмы, оно необходимо для повышения эффективности грохочения по тонким классам крупности). Второй серьезный недостаток - сушка всего материала до воздушно-сухого состояния и сепарация мелкодробленных отходов. ТБО как сырьевой источник значительно уступает по ценности минеральному сырью, поэтому механический перенос технологических приемов обогащения руд в область переработки ТБО не оправдан.

Недостатки технологии сепарации ТБО фирмы “Orfa”, а также серьезные трудности нахождения рынков сбыта выделяемых полупродуктов не позволяют рекомендовать ее для переработки российских ТБО.

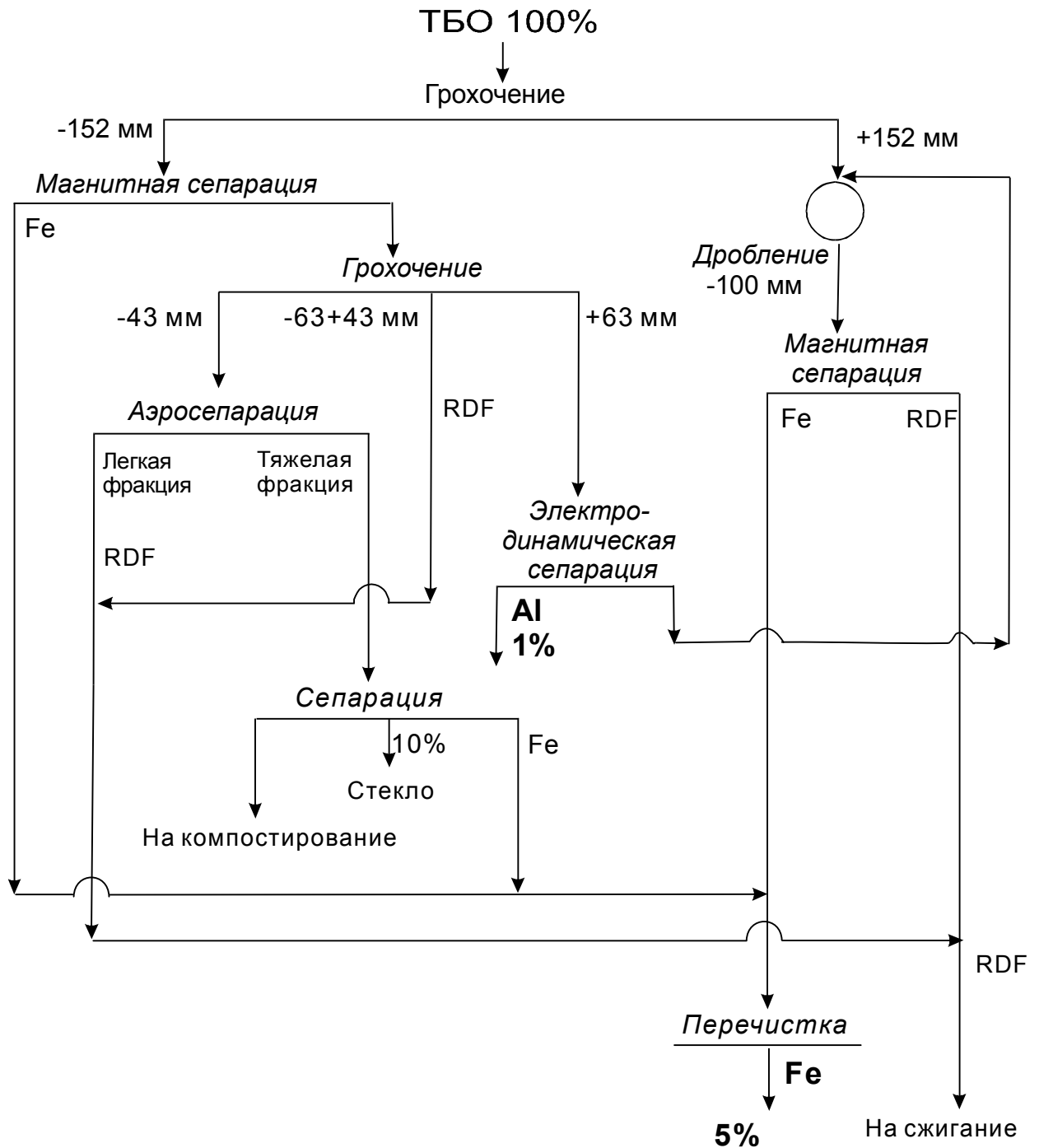
На рис. 4.2 приведена технологическая схема сортировки ТБО, разработанная фирмой “Foster Wheeler” (США) и заложенная в проект крупного завода в Чикаго, введенного в строй в 1997 г.; производительность завода - 500 тыс. т/год. Аналогичная схема проектируется для завода в г. Милане (Италия).

Как видно из рис. 4.2, целевое назначение технологии сортировки - максимально возможное выделение из ТБО топливной фракции при минимальном содержании в ней металлов, других минеральных компонентов, а также вредных примесей. При этом технология сепарации стекла фирмой не раскрывается. Технологическая схема предусматривает грохочение по достаточно мелким классам крупности: 152 мм (исходные ТБО) и 43 мм (грохочение немагнитной фракции). Это можно объяснить морфологическим составом исходных ТБО, которые содержат всего 7% пищевых и растительных отходов, что специфично для ТБО США.

Следует отметить, что при пуске завода освоение технологии вторичного грохочения было связано с определенными трудностями (пониженная эффективность, забивание отверстий барабанного грохота).

Оригинально решен вопрос извлечения цветных металлов из фракции, в которой они в основном концентрируются (класс -152+63 мм); относительно небольшой выход этой фракции должен облегчать регулирование толщины потока отходов в процессе электродинамической сепарации (при условии эффективности операции грохочения).

Совершенно очевидно, что грохочение российских ТБО по классу 150 мм неприемлемо, поскольку, по данным практики, неприемлемо грохочение даже по классу 250 мм; тем более невозможно реализовать грохочение по классу 40 мм. При решении в российских условиях задачи преимущественно энергетического использования ТБО технологическая схема сортировки должна быть иной, поскольку содержание в исходных ТБО пищевых и растительных отходов в среднем составляет 35% (а не 7%, как в США), и они концентрируются не только в тяжелой фракции



**Рис. 4.2.** Технологическая схема сортировки ТБО фирмы “Foster Wheeler” (завод “Робинз”, Чикаго)

аэросепарации, но и в классе грохочения -63 мм, вследствие чего направлять на сжигание этот класс нецелесообразно (пониженная теплотворная способность, повышенный выход недожога).

Таким образом, технология фирмы “Foster Wheeler” без ее адаптации не может быть рекомендована для сепарации российских ТБО.

На рис. 4.3 приведена технологическая схема сортировки ТБО фирмы “Sorain Cecchini” (Италия), которая является разработчиком первых промышленных технологий механизированной сортировки ТБО: первые заводы, на которых осуществлялась сортировка ТБО, были введены в эксплуатацию в Риме еще в середине 60-х годов (всемирно известные заводы, прекратившие свое функционирование в 1987 г., как морально устаревшие и уже не в полной мере отвечающие экологическим нормам и требованиям; в настоящее время заводы этой фирмы функционируют в г. Перуджа и Фолино). Фирма “Sorain Cecchini” продала лицензии на свою технологию в скандинавские страны, Швейцарию, Югославию, Чехию, Бразилию, Венесуэлу.

Как видно из рис. 4.3, технология сортировки фирмы “Sorain Cecchini” предусматривает выделение четырех продуктов: черного металла, обогащенной органической фракции (для компостирования), пластиковых отходов (для регенерации) и макулатуросодержащей фракции (для производства RDF).

Сортировка ТБО традиционно для европейских заводов начинается с операции грохочения в барабанном грохоте с отверстиями 100 мм (исходные ТБО, доставляемые на завод в полиэтиленовых мешках, характеризуются невысокой влажностью и низким содержанием текстильных компонентов). Фракция -100 мм проходит вторую стадию грохочения в барабанном грохоте (по классу 10 мм) и направляется на компостирование; фракция -10 мм является отвальной, на вид она представляет собой землистый продукт (считается, что мелкие частицы адсорбируют токсичные и вредные вещества, которые могут загрязнять компост). Выход обогащенной органической фракции, направляемой на компостирование - около 25% по массе (от исходного).

Фракция +100 мм подвергается одностадийной магнитной сепарации и затем - аэросепарации (в месте перегрузки с конвейера на конвейер материал подвергается отсасывающему току воздуха, легкие компоненты при этом засасываются воздухом и выносятся в циклон).

Тяжелая фракция аэросепарации является отвальной, ее выход (совместно с классом -10 мм грохочения) составляет около 60%, т.е. степень утилизации ТБО на заводе не превышает 40% (термический цех на заводе закрыт по экологическим причинам).

Особенностью технологической схемы является операция разделения пленки и бумаги. Для разделения этих компонентов применяется избирательное дробление, использующее различие в эластичности пленки и бумаги (на технологической схеме операция дробления не показана), затем грохочение в барабанном грохоте по классу 200 мм и затем - аэросепарация класса +200 мм; выход легкой фракции аэросепарации 1-1,5%, она преимущественно содержит пленку (присутствуют примеси бумаги). В класс -200 мм грохочения преимущественно попадает бумага, она направляется на производство топливных брикетов.

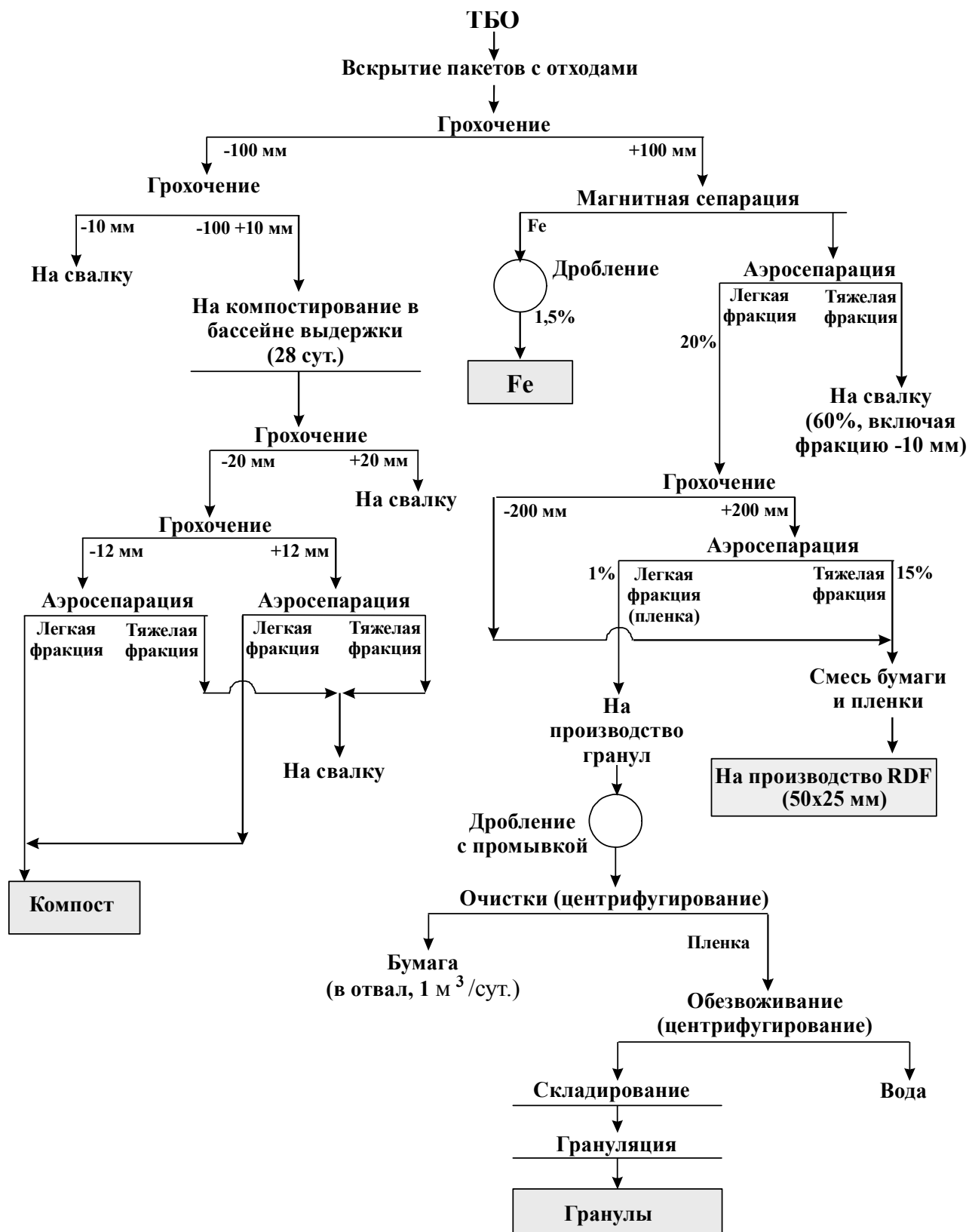


Рис. 4.3. Технологическая схема сортировки и переработки ТБО на заводах фирмы “Сорайн Чеккини”

В целом анализируемая технологическая схема эффективна и применительно к итальянским ТБО работоспособна и надежна. Ее основные недостатки видятся в следующем:

- одностадийная магнитная сепарация, не обеспечивающая высокое извлечение черного металла;
- отсутствие перечистки магнитного концентрата, в связи с чем черный металл загрязнен примесями;
- полная потеря цветных металлов;
- относительно невысокая эффективность аэросепарации ТБО, рассчитанная на сортировку преимущественно сухих отходов.

Очевидно, заимствовать эту схему целиком при проектировании технологии сепарации российских ТБО нецелесообразно, заслуживают внимания лишь отдельные технологические операции.

На рис. 4.4 приведена технологическая схема сортировки ТБО фирмы “Asahi Juken” (Япония), предложенная для реализации в Москве в 1997 г. (как составная часть схемы комплексной переработки ТБО).

Технология предусматривает грохочение исходных ТБО по классу 50 мм и 200 мм в трехпродуктовом барабанном грохоте, последующую раздельную магнитную сепарацию мелких классов (-50 мм и -200+50 мм) и ручную сортировку крупной фракции (+200 мм). В процессе ручной сортировки фракции +200 мм предполагается выделять смесь пластмассовых отходов и цветной металл; аналогичная ручная сортировка предусмотрена для средней фракции -200+50 мм. Отходы ручной сортировки (и крупные отходы после дробления) подвергаются магнитной сепарации, хвосты которой поступают на дробление и затем - на воздушную сепарацию с выделением легкой фракции для производства этанола; тяжелая фракция аэросепарации является отвальной.

Из хвостов магнитной сепарации самых мелких классов первичного грохочения (-50 мм) также с помощью воздушной сепарации выделяют мелкую фракцию, направляя ее в производство этанола.

Технологическую схему фирмы “Asahi Juken” нельзя считать эффективной: КПД первичного грохочения по узким классам крупности невысок, не оправдана реализация магнитной сепарации в четырех точках технологической схемы, цветные металлы практически не содержатся в классе +200 мм и их извлечение из этого класса планировать нельзя, не оправдано двухстадийное дробление класса +200 мм, значительная часть пищевых и растительных отходов в производство этанола не поступает и безвозвратно теряется (в виде тяжелой фракции аэросепарации), ручная сортировка пластмассы при ее относительно невысоком содержании в исходных ТБО не оправдана, реализация смешанных пластмасс проблематична. Совершенно очевидно, что практическое использование технологической схемы для сепарации российских ТБО нецелесообразно.

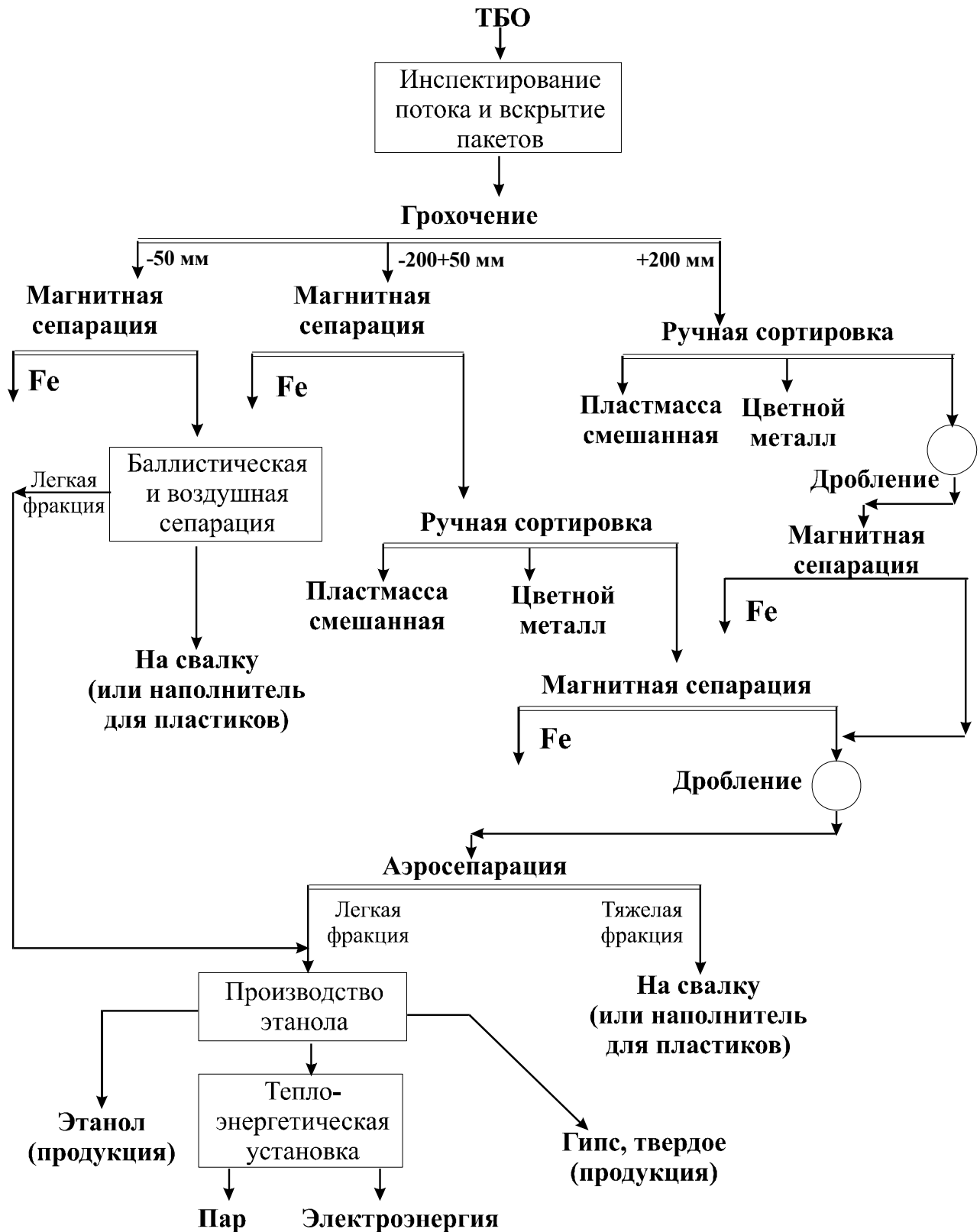


Рис. 4.4. Технологическая схема сортировки ТБО фирмы "Asahi Juken"

На рис. 4.5 приведена технологическая схема сортировки ТБО на заводе в г. Кельн (Германия), введенного в строй в конце 1997 г. По существу, это первый в Германии опыт включения в технологическую схему промышленной переработки ТБО операции сортировки отходов перед их сжиганием. Этот опыт можно рассматривать как дальнейшее развитие методов подготовки ТБО к сжиганию, решаемой до последнего времени в основном за счет организации селективного сбора отходов (как полезных, так и опасных) в местах их образования.

Как видно из рисунка, первичная сортировка исходных ТБО на заводе осуществляется в трехпродуктовом барабанном грохоте по классу 80 мм и 400 мм. Класс -80 мм (выход - 35%) подвергается магнитной сепарации и направляется на сжигание, класс -400+80 мм (выход около 50%) подвергается магнитной сепарации и ручной сортировке (с отбором бумаги и пластмассы) и также направляется на сжигание, класс +400 мм (выход - 15%) подвергается дроблению и сжиганию.

Технологическая схема сортировки ТБО на заводе в г. Кельн несовершенна, что признают сами немецкие специалисты, объясняя это небольшим опытом в создании технологии сепарации отходов. Основные недостатки технологии: грохочение по классу 80 мм неэффективно; не предусмотрено извлечение цветных металлов; низкое извлечение черного металла из класса -400+80 мм в условиях нерегулируемого потока отходов большой толщины (это приводит к тому, что значительная часть черного металла попадает в процесс сжигания и переходит в шлак, в связи с чем потребовалось введение операции магнитной сепарации металла из шлака уже после пуска завода).

Анализ пяти современных зарубежных технологий сепарации ТБО показывает, что они не являются универсальными и их нецелесообразно использовать при переработке российских ТБО, отличающихся более сложным составом. Можно отметить, что в большинстве случаев зарубежные технологии, решая частную задачу извлечения тех или иных ценных компонентов (или смеси компонентов) для коммерческой реализации, не предусматривают создание условий, обеспечивающих полноту извлечения этих компонентов, и не решают комплексно задачу подготовки отходов к дальнейшей переработке тем или иным методом.

Практикой доказана также невысокая эффективность грохочения исходных ТБО по тонким классам крупности, поэтому технологические схемы, включающие такие операции, не являются оптимальными (особенно для российских ТБО). Применение ручного труда в технологиях сепарации ТБО не является достоинством технологии, а механизированное извлечение цветных металлов из ТБО реализовано только в технологии фирмы "Foster Wheeler".

Лучшей из анализируемых является технологическая схема сепарации ТБО фирмы "Foster Wheeler"; заслуживают также внимания построение технологии фирмы "Sorain Cecchini" и включение в нее оригинальных операций. Вместе с тем ни одну из этих технологий нецелесообразно использовать без адаптации для сепарации российских ТБО.

Как показывает анализ, практически все зарубежные технологии предусматривают регулирование потока отходов, подвергаемых сепарации, с помощью грохочения. Очевидно, эффективность технологии сепарации должна быть выше, если для регулирования потока отходов, направляемых на сепарацию,

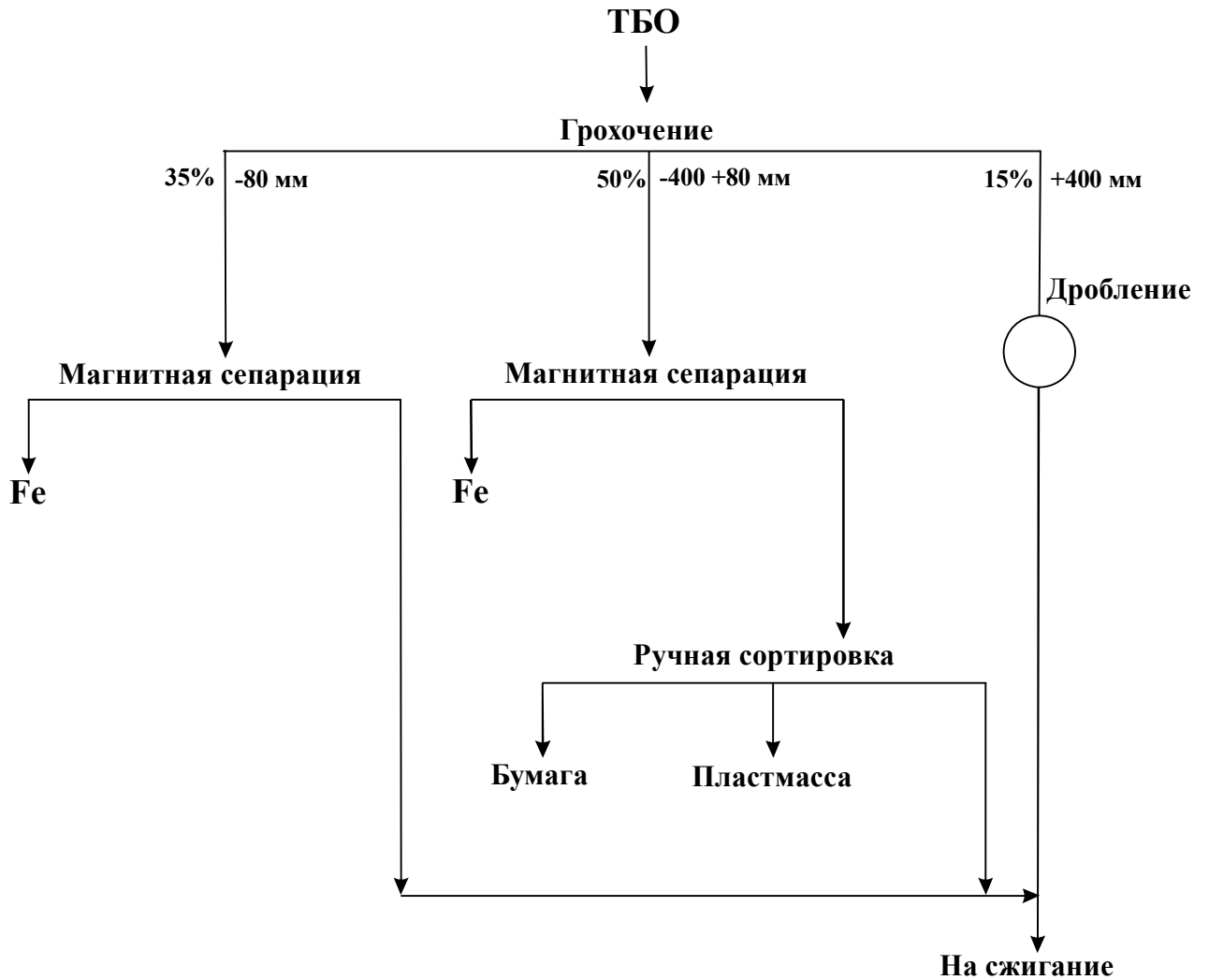


Рис. 4.5. Технологическая схема сортировки ТБО на заводе в г. Кельн (Германия)



использовать не только методы грохочения (сепарация ТБО на узкие классы крупности затруднена), а также воздушную сепарацию, разделяющую поток ТБО на легкую и тяжелую фракции. Аэросепарация основного потока ТБО является также операцией, улучшающей санитарно-гигиенические условия труда, способствующей подсушке отходов, повышению полноты извлечения металлов, отделению инертных компонентов.

Таким образом, актуальной задачей является использование при проектировании отечественных заводов работоспособной, апробированной технологии сепарации ТБО, в полной мере учитывающей их специфический состав, а также достижения мировой практики в этой области.

На рис. 4.6 представлена технологическая схема сортировки ТБО перед их сжиганием, заложенная в проект московского завода №4 (промзона Руднево). Завод запроектирован институтом МосводоканалНИИпроект с привлечением института «Гипрокоммунстрой».

Проектная технологическая схема сортировки ТБО на заводе в Руднево начинается, аналогично зарубежной практике, с операции грохочения исходных ТБО (по классу 250 мм). Класс +250 мм подвергается магнитной сепарации, дроблению и вторичному грохочению по тому же классу 250 мм. Класс +250 мм вторичного грохочения после дробления объединяется с классами –250 мм первичного и вторичного грохочения (перед объединением класс –250 мм первичного грохочения также подвергается магнитной сепарации); объединенный продукт поступает на извлечение черных и цветных металлов (с помощью магнитной и электродинамической сепарации). Технологическая схема предусматривает возможность направления фракции +250 мм вторичного грохочения непосредственно в отвал (на полигон захоронения), минуя операции дробления и извлечения металлов, а также возможность направления продукта первичного дробления в операцию электродинамической сепарации, минуя операции вторичного грохочения, дробления и магнитной сепарации.

Основные недостатки рассматриваемой технологии сортировки ТБО:

- технологическая схема является умозрительной, она нигде не апробирована;
- выбор технологической схемы не обоснован, ее работоспособность не проверена и не доказана;
- технология не решает вопросы подготовки потока ТБО к сепарации, в связи с чем реальное извлечение черных металлов будет неполным, а извлечение цветных металлов во многом проблематично;
- технология не решает задач подготовки ТБО к сжиганию (опасные и балластные компоненты не удаляются, задача повышения теплотворной способности отходов перед сжиганием не решена, на сжигание направляется почти весь поток ТБО – не менее 97-98% от исходного количества);
- установка барабанного грохота в голове процесса является ошибочной (отверстия забиваются текстильными и влажными компонентами), эффективность первичного грохочения исходных ТБО невелика (не более 50%);
- включение в технологическую схему операции вторичного грохочения по тому же классу не имеет смысла и только повышает стоимость производства;

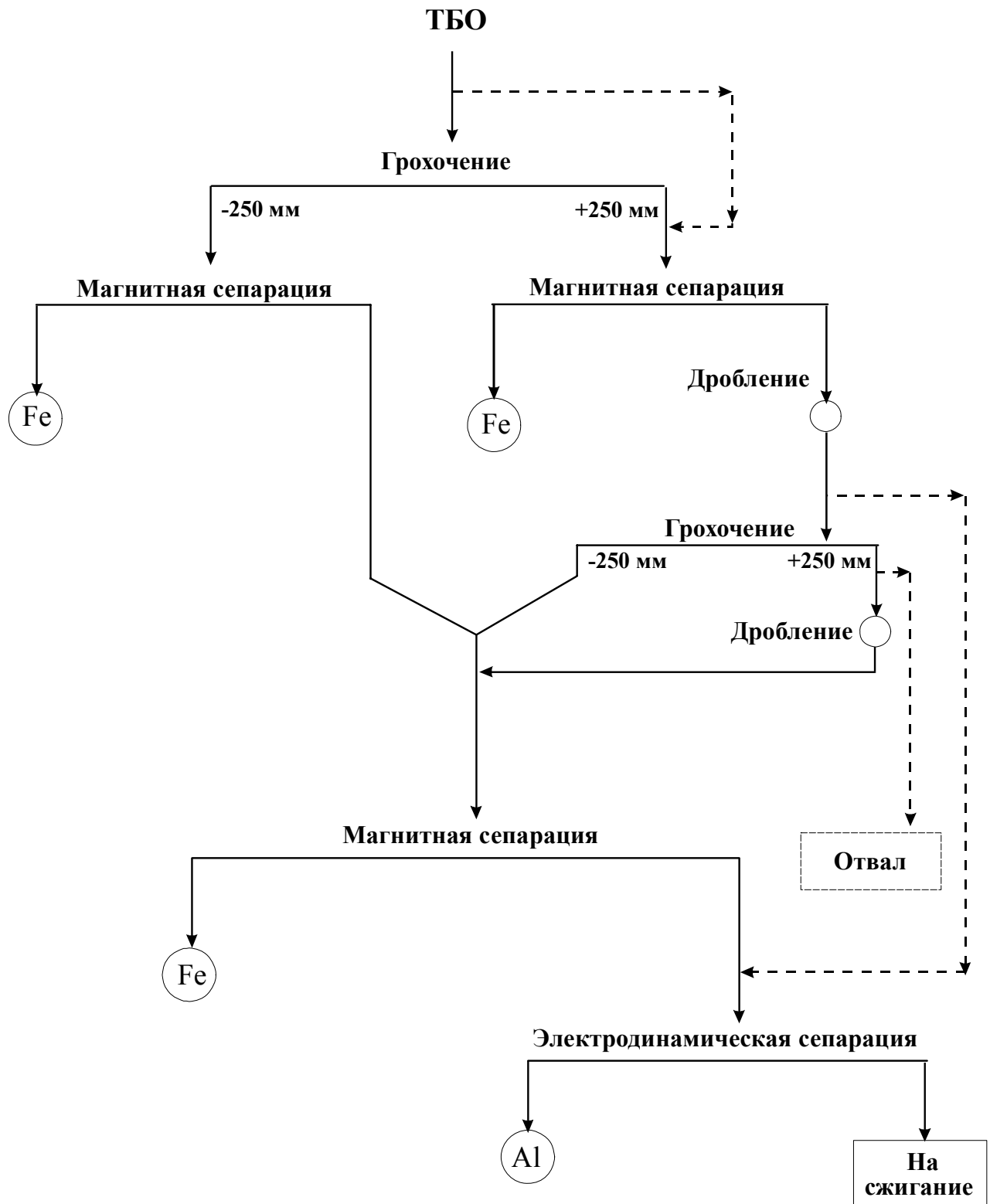


Рис. 4.6. Технологическая схема сортировки ТБО на заводе «Руднево»

- класс +250 мм не содержит цветных металлов, поэтому вариант его направления на стадию электродинамической сепарации не имеет смысла;
- не предусмотрена перечистка черного металла, в связи с чем магнитный продукт будет сильно загрязнен посторонними примесями, что недопустимо (требования ГОСТ 2787-83).

Таким образом, какие-либо основания к тиражированию технологии сортировки ТБО, заложенной в проект завода № 4 в Москве, отсутствуют. Эта технология не учитывает состав и свойства исходного сырья как объекта обогащения, не соответствует уровню мировой практики и по существу неработоспособна. Использование подобной технологии в проекте современного завода ошибочно.

По данным ситового анализа, основная часть ТБО, образующихся у населения, приходится на класс -150 мм (более 80% от массы ТБО); в этом классе концентрируется около 80% черного металла, около 80% луженой тары, более 95% лома алюминия, более 60% бумаги (от общего содержания этих компонентов в ТБО). При обогащении ТБО стоит техническая задача селективного разделения компонентов, входящих в узкий класс крупности -200(-150)+0 мм, а также отделения крупнокусковых компонентов.

Построение технологической схемы обогащения ТБО в общем случае определяется из четырех основных условий:

- морфологического состава ТБО;
- числа компонентов, которые входят в состав ТБО, представляют практическую ценность в данных технико-экономических условиях и должны извлекаться как самостоятельный продукт;
- требований, предъявляемых к продуктам обогащения;
- числа компонентов, которые входят в состав ТБО, являются опасными или балластными в данных условиях и должны удаляться из процесса переработки.

При создании эффективной отечественной технологии сортировки сложных по составу российских ТБО за основу необходимо принять следующие положения:

- извлечение из потока ТБО цветных металлов без разделения потока на легкую и тяжелую фракции затруднено, т.к. цветной металлолом “запутывается” в легких компонентах ТБО, и его трудно выделить в самостоятельный продукт; по этой же причине невозможно обеспечить и высокую степень извлечения черного металлолома;
- наиболее крупные компоненты черного металлолома, а также текстильные компоненты должны быть извлечены в начале процесса, что позволит наилучшим образом реализовать аэросепарацию для разделения ТБО на две фракции (уменьшение потока материала, ударной нагрузки на аппараты, предотвращение забивания и т.д.); после выделения из ТБО крупного металлолома, текстильных и полимерных материалов отходы по своему составу приближаются к ТБО европейских стран, в связи с чем принципиально возможно применение операции грохочения в барабанном грохоте;

- после удаления из ТБО легкой фракции должна быть введена операция доизвлечения черных металлов, поскольку их присутствие в потоке затрудняет применение электродинамической сепарации;
- коллективный магнитный концентрат должен подвергаться перечистой сепарации (для обеспечения соответствия содержания металла в готовом продукте действующим стандартам);
- из обогащенных фракций, направляемых на термическую и бестермическую обработку, желательно удалить отработанные электробатарейки;
- фракция ТБО, направляемая на термообработку, должна быть максимально обогащена горючими компонентами при максимально возможном удалении вредных и балластных компонентов; желательно также обеспечить подсушку легкой фракции;
- желательна, по возможности, монослойная подача материала в процесс сортировки.

Технологическая схема сортировки ТБО, основные операции которой отработаны на потоке ТБО при производительности 15 т/час, приведена на рис. 4.7. Определенная последовательность операций, применение оригинальных аппаратов и технологических режимов, не имеющих аналогов за рубежом, использование прогрессивных элементов зарубежных разработок обеспечивают высокую эффективность и надежность апробированной российской технологии, разработанной в бывшем ВИВРе (позднее ВНИИресурсосбережения, ныне НИЦПУРО) и освоенная в промышленно-экспериментальном масштабе.

Как видно из рис. 4.7, разработанную в ВИВРе технологическую схему отличает от зарубежных наличие двух операций, предшествующих традиционному грохочению - магнитной сепарации и удаления из потока текстильных и крупных пленочных компонентов, осуществляемого в аппарате оригинальной конструкции (в этом аппарате происходит также рыхление материала). Эти две операции оптимизируют последующее грохочение по классу 250 мм. Второе отличие отечественной технологии - регулирование основного потока ТБО (выход 65-70% от исходного) с помощью воздушной сепарации, что позволяет оптимизировать последующие операции сортировки, улучшить санитарно-гигиенические условия работы (дезодорация, обеспыливание) и подсушить компоненты легкой фракции.

Технология обеспечивает высокое извлечение металлов (черных - на уровне 95-98%, цветных - на уровне 85%) в самостоятельные продукты, удовлетворяющие требованиям российских стандартов.

Необходимость включения в технологическую схему операций дробления крупных фракций ТБО диктуется требованиями последующих переделов переработки. Так, в случае слоевого сжигания дробление отходов не требуется, при использовании сжигания в кипящем слое или технологии газификации дробление обязательно.

Выбор режимов, обеспечивающих селективность обогащения и полноту извлечения, базируется на обеспечении максимальной эффективности сепарации в каждой обогатительной операции как составной части единой технологии.

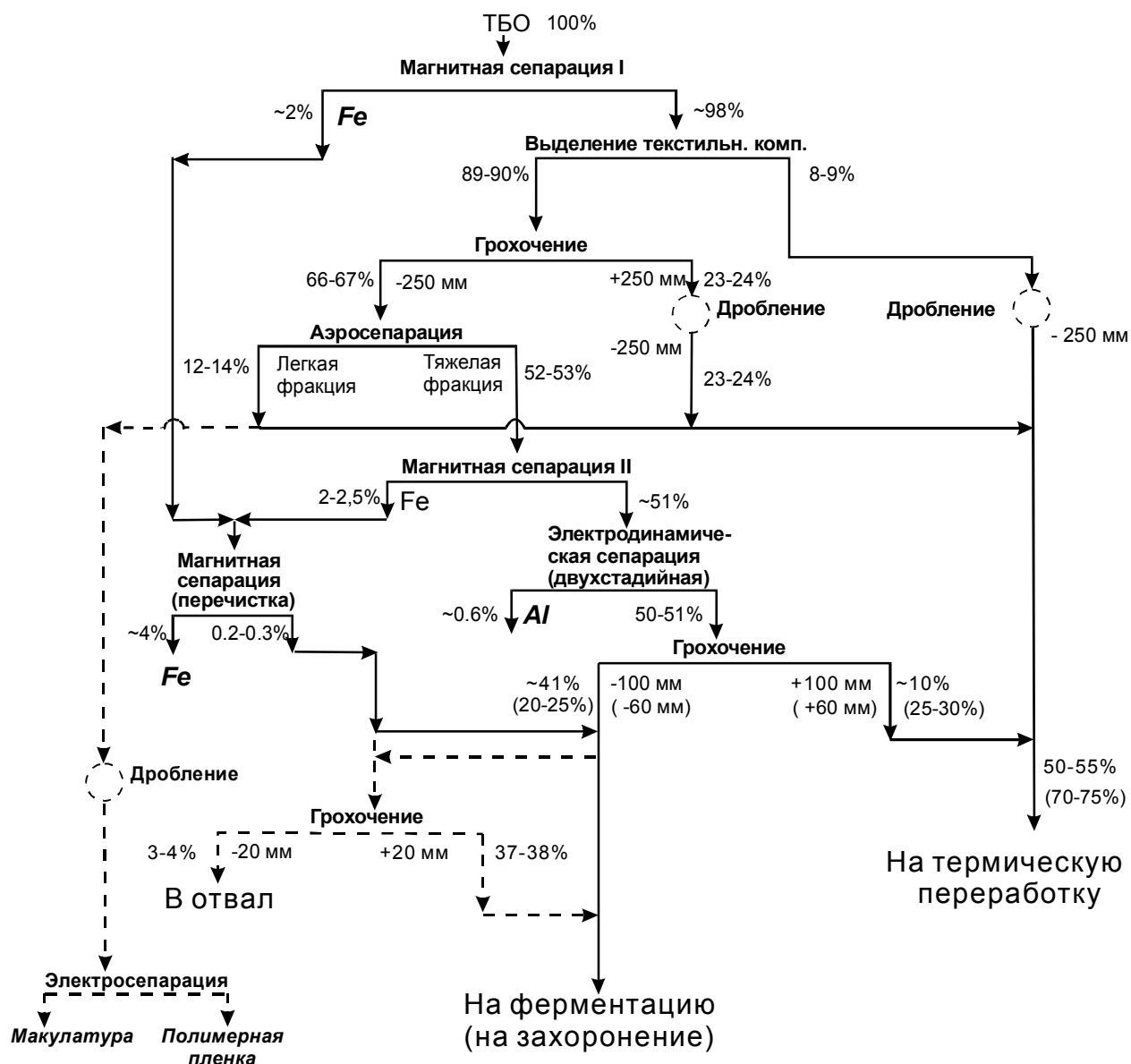


Рис. 4.7. Технологическая схема сортировки ТБО (разработана в ВИВРе)

Исследование сепарационных операций, изучение ТБО как объекта сепарации и анализ практики действующих предприятий позволяют обоснованно сформулировать принципы построения технологической схемы сепарации ТБО и объединения отдельных операций в единую технологию:

- выделение в голове процесса компонентов, затрудняющих последующую сепарацию (крупнокусковые и волокнистые компоненты, лом черных металлов);
- минимизация количества отходов для дробления;
- раздельная сепарация легкой и тяжелой фракции;
- реализация в схеме возможности регулирования массового потока отходов (регулирование выхода легкой и тяжелой фракции с помощью аэросепарации);
- направление на аэросепарацию и электродинамическую сепарацию фракции ТБО крупностью -250 мм;
- наиболее полное выделение черных металлов перед электродинамической сепарацией;
- максимально возможное удаление балластных и экологически опасных компонентов из фракции ТБО, направляемой на термообработку (при максимальном обогащении этой фракции горючими компонентами).

Наиболее полное и селективное разделение ТБО на компоненты достигается при монослойной подаче их к сортирующим аппаратам и устройствам, когда отдельные компоненты не перекрывают друг друга и находятся в разъединенном состоянии. Монослойную подачу отходов в процесс сепарации обеспечивают их разделение на легкую и тяжелую фракции и ступенчатое увеличение скорости потока ТБО перед каждой последующей операцией обогащения по ходу технологического процесса (от 0,2 до 1,5 м/с).

#### **4.4. Оценка технологий обезвреживания отходов промышленной переработки и перспектив создания безотходного производства**

Твердыми отходами при комплексной переработке ТБО являются: шлак (10-15% от исходного по массе), летучая зола (3-4% от исходного, если применяется слоевое сжигание), отходы сортировки – около 5% от исходного и инертные материалы (10-15% от исходного). Строго говоря, отвальными отходами, требующими захоронения, являются летучая зола и мелкая фракция сортировки (суммарно - 8% от исходного), содержащие токсичные вещества; шлаки и инертные материалы в принципе можно рассматривать как полупродукты и использовать, например, в дорожном строительстве, при выравнивании поверхности, засыпке пустот на местности, в качестве пересыпного материала в технологии свалок и т.п. Тем не менее, учитывая все возрастающие и ужесточающиеся экологические требования и необходимость создания устойчивых рынков сбыта, целесообразно переработать технологические отходы в сертифицированные продукты, удовлетворяющие самым жестким нормам и правилам.

Существует несколько промышленных и близких к промышленному применению технологий обезвреживания и переработки образующихся отходов, в составе которых преобладают минеральные вещества.

Наиболее универсальным методом, мало зависящим от состава отходов, является *электропереплавление с последующим остекловыванием*. В остеклованной форме токсичные вещества находятся в изолированном состоянии и не вымываются из шлака даже после его измельчения. Электрообогрев обеспечивает простоту поддержания температуры в шлаковой ванне (1400-1500°C). В остеклованном виде материал может найти самое различное применение. По данным ВНИИЭТО, шлаки после электроплавки отходов могут быть переработаны в высококачественный строительный материал, в частности, из шлака можно получить теплоизоляционный засыпной утеплитель с насыпной массой от 180 до 250 кг/м<sup>3</sup> или пористый наполнитель конструктивных бетонов плотностью до 900 кг/м<sup>3</sup> (технология производства основана на гранулировании шлакового порошка с добавками и последующем обжиге гранул во вращающейся обжиговой печи).

Традиционный недостаток применения электроплавильной технологии - большой расход электроэнергии - в условиях работы комплекса, производящего энергию из отходов, решающей роли не играет.

Потенциально для переработки летучей золы можно использовать *технология производства безобжиговых огнеупоров*. Сущность технологии заключается в дроблении, измельчении и смешивании летучей золы мусоросжигательного завода с золой ГРЭС и фосфатными вяжущими (в частности, с ортофосфорной кислотой), формовании кирпичей, их термообработке при температуре 300-400°C и выдерживании при этой температуре в течение 4 часов. Первые опытно-промышленные испытания на заводе огнеупоров в Новомосковске дали обнадеживающие результаты.

Технология комплексной переработки ТБО может быть практически безотходной при включении в технологическую схему завода *производства строительных материалов*. Работы по переработке обогащенных фракций ТБО в универсальные, экологически чистые строительные материалы проводятся в Германии и Канаде (технологии SEKUPLAN, Hydromex). Аналогичная технология разработана и апробирована в России под руководством академика М.В. Бирюкова. Применительно к ТБО сущность технологии заключается в обработке сухой тонкоизмельченной фракции ТБО, обогащенной органическими веществами, растворами минеральных вяжущих - бишофита и магнезита и получении формуемой массы для последующего литья под давлением, горячего прессования или штамповки. Процесс подготовки массы обеспечивает капсулирование всех частиц отходов и получение экологически чистых стройматериалов, обладающих свойствами огнестойкости и биостойкости. Получение стройматериалов на органической основе обеспечивает малую отходность (безотходность) мусороперерабатывающего комплекса.

В цех переработки отходов в стройматериалы может быть направлено около 25% ТБО, поступающих на завод.

В основе комплексной переработки ТБО лежит механизированная сепарация ТБО (возможно применение операции ручной сортировки крупнокусовой фракции). Отличие технологических схем сортировки связано с реализацией операции

вторичного грохочения: в одной из схем эта операция может не использоваться, в других она осуществляется по разным классам крупности (по классу 60 мм и 100 мм), что объясняется различным целевым назначением комплексной переработки ТБО (в части выпуска готовой продукции) и экономическими соображениями (снижение капитальных затрат, на дорогостоящие переделы переработки). Механизированная сортировка исходных ТБО и продуктов ферментации обеспечивает извлечение в самостоятельные продукты черных и цветных металлов, выделение горючей и биоразлагаемой фракции (последняя пригодна для ферментации и для производства строительных материалов), а также удаление опасных компонентов (фракция –65 +40 мм обогащена отработанными сухими гальваноэлементами).

Из термических технологий наиболее рационально включать в схему комплексной переработки ТБО отечественную технологию паро-воздушной газификации или слоевое сжигание с использованием оборудования германских фирм. По экологическим критериям предпочтителен выбор российской технологии; германская технология, не требующая предварительного дробления отходов, может иметь преимущество в случае строительства завода большой производительности.

Из биотермических технологий предпочтителен выбор ферментации (ферментативной сушки) в туннеле. В зависимости от назначения биотермической обработки можно получать готовый для реализации продукт (стабилизированная органическая фракция для использования, например, в цветоводстве, при рекультивации земель и т.п.) или полупродукт (направляется на термическую переработку)<sup>х)</sup>.

Весьма важно, что завод, запроектированный по технологии комплексной переработки ТБО, может вводиться в строй поэтапно (вначале вводятся в действие переделы сортировки и термообработки, затем остальные).

---

<sup>х)</sup> В процессе ферментативной сушки происходит неполное разложение органических веществ (потеря массы вещества не превышает 30%).



## **5. Рациональная программа строительства в Московском регионе объектов промышленной переработки ТБО**

Для реализации планомерной научно обоснованной технической, организационной и экономической политики строительства объектов комплексной переработки ТБО необходимы:

- разработка рациональной схемы размещения предприятий оптимальной производительности;
- выбор оптимальных комбинационных технических решений проектирования и строительства каждого объекта (исходя из разработанной концепции);
- разработка рациональной схемы финансирования строительства каждого завода.

В настоящее время программа строительства в Московском регионе объектов промышленной переработки ТБО заданной производительности и технического перевооружения действующих предприятий реализуется в соответствии с совместным постановлением Правительства Москвы и Администрации Московской области от 20.09.94 г. №790-14 и постановлениями Правительства Москвы от 27.09.94 г. №860 и от 18.10.94 г. №941.

Исходя из постановлений, планировалось до 2005 года осуществить строительство семи новых комплексов по переработке ТБО и реконструкцию двух действующих заводов. Программа строительства новых объектов предусматривает выделение в Московском регионе следующих промплощадок:

- Руднево (Москва), 250 тыс. т/год;
- Котляково (Москва), 200 тыс. т/год;
- Фенино (Балашихинский район), 240 тыс. т/год, в т.ч. доля Москвы - 190 тыс. т/год;
- Царево (Пушкинский район), 240 тыс. т/год, в т.ч. доля Москвы - 120 тыс. т/год;
- Тимохово (Ногинский район), 480 тыс. т/год, в т.ч. доля Москвы - 350 тыс. т/год;
- Воронцово (Сергиево-Посадский район), 240 тыс. т/год, в т.ч. доля Москвы - 60 тыс. т/год;
- Хметьево (Солнечногорский район), 320 тыс. т/год, в т.ч. доля Москвы - 220 тыс. т/год.

Суммарная производительность всех новых заводов - около 2 млн. т ТБО в год. С учетом увеличения производительности действующих заводов №2 и №3 после реконструкции до 330 тыс. т/год, в промышленную переработку к 2005 г. должно было бы вовлекаться около 2.3 млн. т/год, в т.ч. доля Москвы составила бы около 1.75 млн. т/год. Учитывая, что к 2005 г. объем образования ТБО в Москве составит не менее 2,75 млн. т/год, в промышленную переработку к тому времени не будет вовлекаться около 1 млн. т/год ТБО. Для организации их переработки необходимо прежде всего решить вопрос о выборе промплощадок для размещения оборудования четырех заводов производительностью по 250 тыс. т/год ТБО или трех заводов

производительностью по 330 тыс. т/год ТБО (потенциально возможен вариант строительства двух заводов по 500 тыс.т/год ТБО).

Из семи намеченных к вводу новых комплексов по переработке ТБО три находятся в стадии проектирования и строительства (Руднево, Фенино, Тимохово).

Остается задача выбора в соответствии с разработанной концепцией оптимальных технологий для проектирования и строительства четырех объектов - Котляково, Царево, Воронцово, Хметьево (в принципе их производительность целесообразно пересмотреть в сторону увеличения, имея в виду упрощение задачи выбора новых площадок для строительства).

К сожалению, в настоящее время программа создания новых объектов по промышленной переработке ТБО не реализуется и, по существу, заморожена.

В настоящее время в Правительство Москвы поступило много предложений по использованию различных технологий для промышленной переработки ТБО. Эти предложения можно рассматривать как своеобразный тендер технологий, имея в виду их объективную оценку для выбора наиболее оптимальных решений.

В табл. 5.1 в обобщенном виде представлены сведения о различных технологиях, предложенных для переработки ТБО, и дана их краткая оценка.

Из данных таблицы следует, что из отечественных предложений в соответствии с настоящей концепцией наибольший интерес представляют разработки Института химической физики РАН (Черноголовка), связанные с газификацией отходов. В технологических схемах комплексной переработки ТБО процессы газификации наиболее эффективны, в мировой практике это направление работ развивается достаточно интенсивно. Отечественная технология газификации представляется предпочтительной (в 1997 г. в Финляндии вводится в строй первый завод по переработке ТБО, в проект которого заложена эта технология).

Ряд предложений зарубежных фирм соответствуют положениям настоящей концепции. Тем не менее все предложенные технологии требуют, по согласованию с фирмой, определенной корректировки и адаптации к российским условиям. Учитывая отработанность технических предложений, при условии решения вопросов кредитования и финансирования, в первую очередь целесообразно взаимодействие с фирмами "Steinmuller" (Германия) и "Asahi Juken" (Япония).

После конкретизации предложений и предоставления дополнительных данных возможно взаимодействие с фирмами "Orfa" (Швейцария), "American Recovery" (США) и "P.M.S, S.A.-Bastimar S.L." (Испания).

Таблица 5.1

Сведения по использованию различных технологий переработки ТБО, поступивших в Правительство Москвы

Фирма (страна)	Принципиальное предложение	Принципиальная технология	Товарная продукция	Сведения о фирме. Готовность предложения к использованию. Рекомендации.
<b>Asahi Juken (Япония)</b>	1. Строительство завода мощностью 250-300 тыс.т/год	Комплексная переработка ТБО (сортировка, термическая переработка, ферментация); переработка полупродуктов. Количество отходов - 15%.	Черные и цветные металлы, компост, этанол, электро- и тепловая энергия. При ручной выборке - пластмассы и бумага	Фирма основана около 10 лет назад. Кооперируется с фирмами США, Европы, Японии. В 1994 г. построила завод в Саудовской Аравии (мощность 250 тыс.т/год). Имеются проекты строительства в Австрии, Германии, Японии, Венгрии и других странах. Технологические решения фирма корректирует в зависимости от пожеланий заказчика, состава ТБО и маркетинговых условий. Предлагаемая технология прогрессивна, но требует адаптации к российским условиям. <b>При решении вопросов финансирования взаимодействие с фирмой представляется полезным.</b>
	2. Строительство завода мощностью 250 тыс.т/год	Комплексная переработка ТБО (сортировка, пиролиз и газификация, производство энергии);	Черные и цветные металлы, электроэнергия. При ручной выборке - пластмассы	
<b>Sumitomo Corporation (Япония)</b>	Услуги в выборе современных технологий переработки ТБО (на базе опыта Японии). Участие в качестве ген. подрядчика по проектированию и строительству заводов, организация финансирования и управления	Выбирается совместно с представителями заказчика		Одна из крупнейших универсальных торговых корпораций Японии. Имеет опыт реализации инвестиционных проектов в России. <b>Взаимодействие с фирмой представляется целесообразным.</b>

Фирма (страна)	Принципиальное предложение	Принципиальная технология	Товарная продукция	Сведения о фирме. Готовность предложения к использованию. Рекомендации.
<b>Lurgi AG</b> (Германия)	Строительство завода мощностью 250 тыс. т/год (поставка оборудования, проектирование, техническая документация и услуги - общая стоимость 165 млн. марок)	Слоевое сжигание в печах с валковыми решетками, температура сжигания 850 <sup>0</sup> С, с предварительным дроблением (роторные ножницы). Газоочистка 4-х стадийная. Печь рассчитана на сжигание отходов с средней теплотворной способностью 1900 ккал/кг	Черный металл (доменный присад); пар; электроэнергия	Одна из ведущих мировых фирм в области металлургии и энергетики, газоочистки, переработки твердых отходов (преимущественно термическими методами). Предлагаемые котлоагрегаты с валковыми решетками малоперспективны. Фирма может проработать вопрос о предоставлении кредита в 106 млн. долларов (10 лет, 7% годовых). <b>При решении фирмой вопросов финансирования возможно взаимодействие в рамках создания объектов комплексной переработки ТБО (при возможном одновременном участии других фирм).</b>
<b>American Recovery, Inc</b> (США)	Строительство заводов по переработке ТБО г. Москвы (производительность завода 300 тыс. т/год), совместное управление	Сортировка ТБО с выделением горючей фракции (33-65% от исходных ТБО) для производства топлива из отходов (RDF) и товарной продукции (8-12% от исходных ТБО); энергетическое использование RDF (сжигание в печах с кипящим слоем)	Топливные брикеты, черные и цветные металлы, при ручной сортировке - макулатура и пластмассы	Производство RDF не актуально для Московского региона (основное топливо - газ); замена газа на RDF потребует значительных затрат на доставку RDF и переоборудование производств. Технология представляет интерес с точки зрения сортировки отходов. Фирма готова к корректировке технологии (для ее адаптации к российским условиям). <b>Взаимодействие с фирмой представляется целесообразным при условии предоставления кредитов и корректировки технологии.</b>
<b>“Orfa”</b> (Швейцария)	Строительство завода по бестермической переработке ТБО (с организацией финансирования)	Сортировка, ферментация и другие процессы	Металлы, волокнистый материал (для бумажного производства), удобрение, засыпной материал	Фирма построила три завода (в США, Японии и Швейцарии). В конечных решениях фирма руководствуется интересами заказчика. <b>При условии предоставления кредита и работоспособности предлагаемой технологии взаимодействие с фирмой представляется целесообразным.</b>

Фирма (страна)	Принципиальное предложение	Принципиальная технология	Товарная продукция	Сведения о фирме. Готовность предложения к использованию. Рекомендации.
<b>Р.М.S, S.A.- Bastimar S.L. (Испания)</b>	Строительство завода мощностью 240 тыс.т/год ТБО (с предоставлением кредита порядка 100 млн. US \$ на 5-8 лет)	Сортировка и производство RDF	RDF и металлы	В предложенном варианте технология неэффективна, производство RDF не актуально для Московского региона. <b>При условии предоставления кредита и корректировки технологии взаимодействие с фирмой представляется целесообразным.</b>
<b>РНИЦ “Курчатовский институт” (РФ)</b>	Использование плазменных технологий для переработки отходов и золы МСЗ в г. Москве	Плазменная технология (плавление золы с получением стеклованного продукта или газификация и плавка исходных ТБО)	Тепло- и электро-энергия, метанол, остекл. шлак для производства стройматериалов (при переработке ТБО)	Для окончательного вывода о целесообразности применения необходимы надежные пилотные исследования, предпроектная проработка и сравнительный анализ с альтернативными технологиями
<b>Институт химической физики РАН, Черного- ловка (РФ)</b>	Переработка ТБО на основе газификации отходов с энергетическим использованием синтез-газа	Паро-воздушная газификация органических отходов в реакторе при температуре 1200°C	Синтез-газ (утилизируется с высоким энергетическим КПД)	<b>Предлагаемая технология (первая промышленная установка введена в строй в Финляндии в 1998 г.) в комбинации с сортировкой представляется очень эффективной и перспективной. Реализация технологии целесообразна в схемах комплексной переработки ТБО (ожидается, что технология переработки ТБО с использованием этого процесса будет наиболее дешевой среди альтернативных технологий).</b>
<b>Гипроком- мунстрой (РФ)</b>	Реконструкция завода “Ксенон” (Солнечногорский р-н Моск. обл.) с перепрофилированием на переработку ТБО (мощность - 400 тыс. т/год)	Сортировка, компостирование фракции (-100 мм), термообработка всех не утилизируемых компонентов в печи Ванюкова (барботируемый шлаковый расплав)	Черные и цветные металлы, ПЭ-гранулят, шлак для производства стройматериалов	В проект заложены малоэффективная схема сортировки и отсталая технология компостирования; не обосновано применение чисто металлургической технологии для переработки отходов; предложение не может быть рекомендовано для реализации

Фирма (страна)	Принципиальное предложение	Принципиальная технология	Товарная продукция	Сведения о фирме. Готовность предложения к использованию. Рекомендации.
<b>Гипроком-мунстрой и МГО «Коммаш» (РФ)</b>	Проект комплексной республиканской программы “Строительство заводов переработки и утилизации твердых бытовых отходов в Российской Федерации в период 1997-2005 гг.”	Комбинация компостирования в биобарабанах и сортировки	Компост, черные и цветные металлы и др.	Программа строительства заводов представлена без анализа уровня мировой техники и рассчитана на применение отсталых технологий. Для Москвы и Московского региона строительство заводов, ориентированных на выпуск компоста в качестве основного продукта (для сельскохозяйственного использования), не актуально.
<b>Московская экологическая компания (МЭК) (РФ)</b>	Разработка проекта “Технологические комплексы по переработке ТБО” (два завода мощностью по 180 тыс. т/год ТБО)	Дробление ТБО, сортировка, выделение горючей фракции ТБО, ее измельчение и прессование в смеси с углем (технология фирмы “ICOVA”, Нидерланды)	Топливо из отходов (БРАМ)	Представленный материал не содержит обоснований строительства завода и реализации основной продукции (БРАМа). Технологическая схема не оптимальна для российских ТБО (дробление всей массы исходных ТБО, в т.ч. металлов; более 45% отходов производства и др.). Практическая реализация проекта нецелесообразна.
<b>АООТ ЭНИН, ТОО «Атлас-М» (РФ)</b>	Внедрение установок по утилизации твердых бытовых и промтходов	Пиролиз с дожиганием коксового остатка		Предлагаемые установки предназначены для уничтожения небольших количеств горючих материалов; для применения при переработке ТБО необходимо проведение испытаний
<b>ООО «Байпас» (РФ)</b>	Строительство опытной установки производительностью 10-100 тыс. т/год ТБО	Дробление всей массы ТБО до порошкообразного состояния	Топливная мука (в случае сухого измельчения) или компост и биогаз (в случае мокрого измельчения)	Предложение не готово к использованию, является умозрительным и безэкспериментальным, содержит ряд ошибок в расчетах и выборе оборудования; к реализации не рекомендуется
<b>ПМП «Свет» (РФ)</b>	Организация переработки ТБО, органических и биологических отходов	Гидролиз тонкоизмельченной биомассы, микробиологическая обработка; отходы предварительно подвергаются мокрому измельчению	Биоудобрение	Отсутствуют данные о возможности переработки ТБО предлагаемым методом, деталях процесса и масштабах проведенных исследований; технология в принципе может быть использована для переработки биомассы, биологических отходов и может быть включена в заявку на выполнение НИОКР

Фирма (страна)	Принципиальное предложение	Принципиальная технология	Товарная продукция	Сведения о фирме. Готовность предложения к использованию. Рекомендации.
<b>Гипроцветмет (РФ)</b>	Строительство комплексов по переработке бытовых и промотходов на базе печей Ванюкова	Термообработка в слое барботируемого шлакового расплава при 1350-1400°C	Теплоизоляционные изделия, строит. материалы из шлака, металлы	Технология не готова для промышленной переработки ТБО; необходимы промышленные испытания, отработка систем загрузки, автоматизации, газоочистки; выделение металлов в качестве товарной продукции не доказано
<b>АО «Азъ» (РФ)</b>	Строительство завода по переработке бытовых и промотходов на базе печей Ванюкова	Термообработка в слое барботируемого шлакового расплава при 1350-1400°C	Теплоизоляционные изделия, строит. материалы из шлака, металлы	Технология не готова для промышленной переработки ТБО; необходимы промышленные испытания, отработка систем загрузки, автоматизации, газоочистки; выделение металлов в качестве товарной продукции не доказано
<b>Частные лица: М.Г. Чентемиров, А.В. Филатов, А.М. Птицын (РФ)</b>	Строительство заводов по переработке бытовых и промотходов на базе печей Ванюкова (производительностью 60-120 тыс.т/год)	Термообработка в слое барботируемого кислородом шлакового расплава при 1350-1400°C	Теплоизоляционные изделия, строит. материалы из шлака, металлы	Технология не готова для промышленной переработки ТБО; необходимы промышленные испытания, отработка систем загрузки, автоматизации, газоочистки. Можно принять решение о выборе площадки при след. условиях: - авторы самостоятельно находят инвесторов; - завод принимает ТБО по тарифу 20 \$/тонну; - инвестор предоставляет надежные гарантии возмещения возможного ущерба от строительства и эксплуатации завода.
<b>Частное лицо – В.Н. Раттенберг (РФ)</b>	Строительство заводов по переработке бытовых и промотходов на базе фьюминг-печей	Термообработка в слое барботируемого газозооной смеси шлакового расплава при 1200°C		Принимать решение о строительстве заводов преждевременно, т.к. отсутствуют результаты опытно-промышленных испытаний предлагаемого процесса при переработке ТБО; целесообразна постанoвка НИОКР в этом направлении
<b>Частное лицо – Ю.А. Жуков (РФ)</b>		Сортировка, сушка, пиролиз, энергетическое использование пирогаза, переработка твердых отходов пиролиза в строительные изделия (по методу “Hydromex”)		Из представленных материалов неясна степень отработанности предложения к промышленному применению. Необходимы дополнительные сведения.

Фирма (страна)	Принципиальное предложение	Принципиальная технология	Товарная продукция	Сведения о фирме. Готовность предложения к использованию. Рекомендации.
<b>Фирма «Дева» или «Билдинг Эко Лайн» (РФ)</b>	Совместное финансирование, строительство и эксплуатация мусороперерабатывающего завода с передачей фирме функций генподрядчика	Предлагается технология фирмы “САМ” (Италия). Процесс “пиролиз-газификация” при температурах соответственно 950 и 2000°C (разработчик технологии - фирма “Термоселект”, Италия)	Синтез-газ (для энергетического использования) и шлак	Технология испытана в опытно-промышленном масштабе, намечена ее доводка на строящемся заводе в Германии. Строительство завода в Москве преждевременно.
<b>Администрация Солнечногорского района Московской области (РФ)</b>	Строительство мусороперерабатывающего завода в г. Сходня (производит. 50-70 тыс.т/год)	Дробление, сортировка, прессование; планируется использовать демонтированное импортное оборудование с завода в Швейцарии	Топливные брикеты	Для принятия решения о закупке оборудования и строительстве завода необходимо: - изучить рынок сбыта продукции завода; - убедиться в работоспособности технологии; - выяснить причину прекращения эксплуатации завода в Швейцарии
<b>АО НИИ «Ресурс» (РФ)</b>	Совместная переработка ТБО и золошлаковых отходов ТЭС	Совместное сжигание ТБО и золошлаковых отходов в электропечи	Цветные и редкоземельные металлы	Процесс апробирован на уровне лабораторных испытаний. Непонятна цель смешивания отходов. Для Москвы технология не актуальна (на большинстве ТЭС в качестве топлива используется газ).



## 6. Комплексное управление ТБО

Конкретные рекомендации по организации промышленной переработки ТБО базируются на технологических аспектах данной концепции, но во многом зависят от финансовых возможностей. В принципе, ни одна страна, даже самая богатая, не в состоянии за относительно короткий срок практически решить вопросы вовлечения в промышленную переработку всех образующихся ТБО. Естественно, наиболее быстро эти вопросы решаются в странах с относительно малой площадью и высокой плотностью населения (Япония, Швейцария и др.), именно в этих странах в промышленную переработку уже вовлекается 70-75% ТБО (соответственно, на полигоны вывозят всего 25-30% образующихся городских отходов). Во всех развитых странах планируется перспективное строительство новых заводов по промышленной переработке ТБО и одновременно снижение объемов ТБО, направляемых на полигоны захоронения. Иными словами, за основу кардинального решения проблемы ТБО принята их промышленная переработка, обеспечивающая комплексное решение вопросов обезвреживания, утилизации и ликвидации отходов, оптимальное решение экологических вопросов - как за счет создания малоотходного производства и уменьшения нагрузки на окружающую среду, так и за счет существенной экономии природных ресурсов и энергии при создании вторичной продукции из отходов в смежных отраслях промышленности.

Ввиду потребности в больших капитальных вложениях, строительство промышленных объектов для переработки ТБО во времени растягивается.

Оптимальное решение проблемы может быть связано с развитием работ в двух направлениях:

- оптимизация системы сбора и удаления ТБО на основе комплексного решения организационных вопросов управления качеством и количеством потока отходов (минимизация количества ТБО, направляемых на объекты их переработки и захоронения, за счет создания комплексов по сортировке отходов, обогащенных полезными компонентами, на базе их отдельного сбора в жилом и нежилом секторе города и, при необходимости, за счет компактирования хвостов сортировки и отходов из жилого сектора города);
- строительство заводов по комплексной переработке ТБО с применением прогрессивных технологий (в соответствии с положениями настоящей концепции).

Такой подход обеспечивает практическое решение проблемы ТБО с меньшими капитальными затратами и делает город менее зависимым от области; одновременно уменьшаются эксплуатационные затраты на транспортировку (удаление) ТБО.

Блок-схема комплексного управления ТБО, отвечающего современным эколого-экономическим и технологическим требованиям, приведена на рис. 6.1.

Таким образом, *первоочередной задачей в управлении ТБО на ближайшую перспективу* является оптимизация их сбора и удаления (*при неизменной долгосрочной стратегии* перехода от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке).

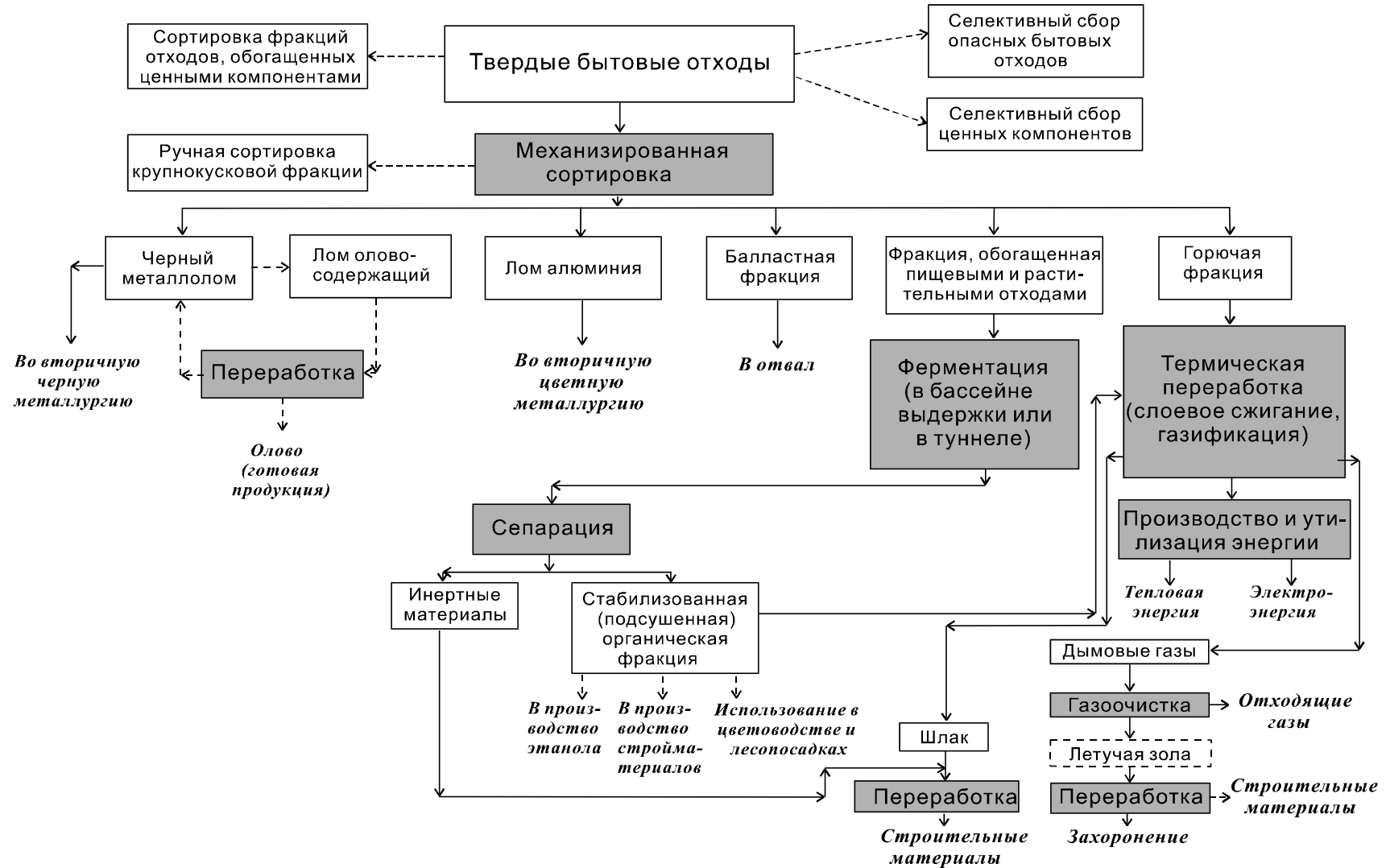


Рис. 6.1. Блок-схема комплексного управления ТБО

## 7. Общие выводы

1. Твердые бытовые отходы (ТБО), образующиеся в результате жизнедеятельности человека, представляют собой гетерогенную смесь сложного морфологического состава (черные и цветные металлы, макулатуросодержащие и текстильные компоненты, стеклобой, пластмасса, токсически опасные гниющие пищевые и растительные остатки, камни, кости, кожа, резина, дерево, уличный смет и пр.). Большую опасность представляют попадающие в ТБО токсичные, инфицированные компоненты (в т.ч. медицинские и биологические отходы), создающие в необезвреженном виде неблагоприятную санитарно-эпидемиологическую обстановку. В то же время ТБО содержат ценные компоненты (металлы, органические вещества), а также являются потенциальным энергетическим источником.

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) является весьма актуальной, поскольку ее решение связано с необходимостью обеспечения нормальной жизнедеятельности населения, санитарной очистки городов, охраны окружающей среды и ресурсосбережения. Ежегодно каждый городской житель производит 200-500 кг ТБО, образующих городской мусор. Промедление с его удалением, обезвреживанием и ликвидацией недопустимо, так как может привести к глобальным эпидемиям, к серьезному загрязнению городов.

2. Исходя из гетерогенного состава муниципальных отходов, схемы управления ТБО на всех стадиях обращения с отходами (включая промышленную переработку) должны представлять собой комбинацию технологических операций разделения отходов на отдельные фракции и компоненты с последующей их переработкой оптимальным методом. Объединяющим процессом в схеме комплексного управления ТБО является сепарация, изменяющая качественный и количественный состав ТБО.

3. Первоочередной задачей в решении проблемы ТБО является оптимизация системы их сбора и удаления на основе комплексного решения организационных вопросов управления качеством и количеством потока отходов (минимизация количества ТБО, направляемых на объекты их переработки и захоронения, за счет создания комплексов по сортировке отходов, обогащенных полезными компонентами, на базе их раздельного сбора в жилом и нежилом секторе города и, при необходимости, за счет компактирования хвостов сортировки и отходов из жилого сектора города);

4. Основной тенденцией решения проблемы твердых бытовых отходов в мировой практике является их вовлечение в промышленную переработку на основе применения интенсивных ресурсосберегающих малоотходных (в перспективе - безотходных) технологий, обеспечивающих одновременное обезвреживание, утилизацию и ликвидацию твердых отходов, решение санитарной очистки городов с наименьшими затратами и максимально возможной выгодой, без негативного экологического влияния.

Наиболее активно промышленная переработка ТБО реализуется в странах с малой площадью и высокой плотностью населения (Япония, Швейцария и др.), где захоронению подвергается всего 25-30% образующихся городских отходов.

Концепция промышленной переработки ТБО с применением прогрессивных технологий базируется на аналитической оценке состояния и направлений развития мировой практики переработки ТБО и эколого-экономической и технологической оценке оптимальных методов переработки (с учетом их потенциальной адаптации к конкретным условиям).

Исходные положения концепции определяются целями и задачами промышленного производства:

- уменьшение объема и массы отходов, подлежащих захоронению (с целью увеличения срока службы свалок и полигонов), с перспективой перехода на безотходное производство;
- обезвреживание отходов (гигиеническая обработка, ликвидация вредных компонентов, остекловывание и др.);
- рациональная утилизация отходов (материальная и термическая, с восстановлением ценных компонентов, получением и использованием энергии, производством новых видов товарной продукции).

5. Из методов промышленной переработки ТБО в мировой практике наиболее часто применяют сжигание, значительно реже - аэробную и анаэробную ферментацию. Возможность использования для переработки ТБО этих методов основана на морфологическом составе ТБО, которые содержат до 70-80% органической (горючей, биоразлагаемой) фракции.

- В сложившейся мировой промышленной практике термической переработки ТБО наиболее распространено слоевое сжигание при 850-1000°C в печах с валковыми или переталкивающими колосниковыми решетками. Вместе с тем практикуется сжигание при 850-950°C в кипящем слое (стационарном, вращающемся, циркулирующем), в большей степени отвечающее экологическим требованиям, но требующее тщательной подготовки отходов к сжиганию. Из новых термических процессов, апробированных в укрупненном масштабе, наиболее перспективны процессы, связанные с газификацией отходов при 1200-2000°C (сжигание газа - наиболее экологически чистый способ сжигания, требующий простейшей схемы очистки отходящих газов).

Температура при сжигании ТБО не может быть произвольной, она диктуется конкретными экологическими и технологическими требованиями:

- для минимизации выхода шлака и токсичных летучих органических соединений сжигание должно обеспечить максимально полное термическое разложение органических компонентов ТБО (установлено, что в условиях недожога создаются оптимальные условия для образования дибензодиоксинов и дибензофуранов - наиболее токсичных и опасных соединений).

По данным практики, при использовании технологии сжигания в циркулирующем кипящем слое, обеспечивающем наиболее интенсивное перемешивание подготовленного (дробленого) материала и его хороший контакт с теплоносителем, минимально необходимая температура процесса

составляет 830°C - содержание недожога в шлаке при таком режиме находится на уровне 1% (практически сжигание в кипящем слое реализуют при температуре 850-950°C).

При использовании технологии слоевого сжигания неподготовленных (не дробленых) ТБО столь интенсивное перемешивание материала невозможно, и необходимая температура процесса составляет 900-1000°C (количество недожога в этих условиях не превышает 2-3%);

- для обеспечения разложения образующихся в процессе сжигания органических соединений (в первую очередь дибензодиоксинов и дибензофуранов) до безвредных и нетоксичных веществ минимально необходимая температура при сжигании в кипящем слое, по данным исследований ЕРА, составляет 950°C (при этом время пребывания отходящих газов в камере сжигания должно быть не менее 2 секунд). По существу экологические требования к температуре процесса совпадают с технологическими. В реальных условиях для гарантии разложения опасных соединений предусматривается пребывание отходящих газов в камере сжигания в течение не менее 3 секунд.

- для обезвреживания шлака (получения в процессе термической переработки ТБО шлакового расплава и его последующего остекловывания) температура сжигания отходов должна быть выше температуры плавления шлака (1300°C); практически в реальном процессе должна поддерживаться температура 1350-1500°C.

- для процесса газификации твердого пиролитического остатка ТБО (углеродистого остатка, отделенного от минеральной фракции или совместно с ней) требуется температура, по данным практики, не менее 1200°C (для сравнения - классическая некаталитическая газификация угля активно протекает при температуре выше 900°C); применение зарубежными фирмами более высоких температур (1400-2000°C) при реализации процесса "пиролиз-газификация" связано с применением кислорода, стремлением получить шлаковый расплав и, возможно, в некоторой степени, объясняется неотработанностью технологии.

Основная тенденция развития мусоросжигания - переход от прямого сжигания ТБО к оптимизированному сжиганию выделенной из ТБО горючей (топливной) фракции и переход от сжигания как процесса ликвидации ТБО к сжиганию как процессу, обеспечивающему, наряду с обезвреживанием отходов, генерирование тепловой и электрической энергии.

Крупные мусоросжигательные заводы являются также достаточно крупными производителями энергии (пар, электроэнергия), но дорогостоящая газоочистка ухудшает экономические показатели таких заводов. В связи с этим повышается значение прямого восстановления материалов, попадающих в отходы, обогащения отходов и реализации первичных мероприятий, облегчающих газоочистку: уменьшение потока отходов, направляемых на сжигание (за счет селективного сбора и сортировки), стабилизация состава отходов, выделение перед сжиганием не только полезных, но и опасных компонентов и др.

• С применением аэробной ферментации (биохимическое разложение органической части ТБО микроорганизмами) в европейской практике ежегодно более

чем на 100 заводах (из них за последние 5 лет построено около 60) перерабатывают приблизительно 4,5 млн. т отходов. В процессе ферментации выделяется тепло (материал саморазогревается до 60-70°C) и происходит обезвреживание отходов (уничтожение большинства болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и т.п.), образование диоксида углерода и водяного пара и твердого стабилизированного органического продукта переработки (его называют компостом, если используют в сельском хозяйстве). В итоге законченного процесса ферментации масса биоразлагаемого материала уменьшается вдвое.

В промышленности наиболее распространены три метода аэробной ферментации:

- ферментация (компостирование) в биобарабанах;
- туннельное компостирование (ферментация);
- ферментация (компостирование) в бассейне выдержки.

Основная тенденция развития практики аэробной ферментации (компостирования): переход от ферментации в биобарабанах к ферментации в бассейне выдержки и в туннеле (на последних поколениях заводов доля отходов, переработанных с использованием ферментации в биобарабанах, составляет всего 11%), сокращение производства компоста как продукта для сельскохозяйственного использования вследствие резкого падения спроса на него (из-за возможности накопления в почве тяжелых металлов при постоянном применении такого компоста на одних и тех же участках земли), отказ от прямого компостирования исходных ТБО (переход на биообработку фракции, обогащенной пищевыми и растительными отходами).

Намечается тенденция использования биообработки в качестве процесса ферментативной сушки обогащенной органической фракции ТБО, обеспечивающего одновременно обезвреживание, измельчение и гомогенизацию материала и получение сухого стабилизированного органического полупродукта (для использования в качестве подготовленного топлива, сырья для производства спирта, строительных материалов).

• Третий метод промышленной переработки ТБО - анаэробная ферментация (получение и утилизация биогаза, образующегося при разложении органических компонентов ТБО в анаэробных условиях) - чаще всего используется непосредственно на полигонах захоронения (в США, например, имеется около 100 установок по утилизации метана, получаемого за счет гниения мусора на свалках); впервые в РФ сбор и утилизация биогаза организованы в 1996 г. на свалках в городах Мытищи и Серпухов. Вместе с тем в Германии, Бельгии, Франции и ряде других стран разработана технология получения биогаза из органической фракции, выделенной из ТБО при их обогащении на заводах. По-видимому, возможность применения анаэробной ферментации органической фракции ТБО следует учитывать в тех случаях, когда имеется практическая потребность в биогазе.

Заводы, на которых реализована технология анаэробной ферментации, являются самыми дорогими среди альтернативных технологий, что связано с необходимостью применения большого числа реакторов большой емкости.

В процессах заводской анаэробной ферментации (сбраживания) в качестве полезной продукции получается не только биогаз, но и компост. Герметичность

установок анаэробной переработки отходов обеспечивает соблюдение экологических и санитарных норм реализации этого процесса.

4. Практический опыт переработки ТБО в различных странах показывает, что не существует какого-либо одного универсального метода, удовлетворяющего современным требованиям экологии, экономики, ресурсосбережения и рынка. Этим требованиям, тенденциям развития мировой практики, рекомендациям международных экологических конгрессов в наибольшей степени отвечает проектирование и строительство комбинированных мусороперерабатывающих заводов, обеспечивающих использование отходов как источника энергии и как вторичного сырья. Построение промышленной технологии именно по принципу комбинации различных методов переработки ТБО нивелирует недостатки каждого метода, взятого в отдельности. Именно комплексная переработка ТБО, как системная комбинация на новой основе сортировки, термообработки, ферментации и других процессов, обеспечивает в совокупности малую отходность производства, его максимальную экологичность и экономичность.

Объединяющим процессом в схеме комплексной переработки ТБО является сортировка (в том числе на основе селективного сбора), изменяющая качественный и количественный состав ТБО. При этом повышается не только доля рецикла ряда компонентов ТБО (в основном металлов), но и во многом решаются вопросы удаления опасных бытовых отходов и балластных компонентов, оптимальной подготовки тех или иных фракций компонентов ТБО к дальнейшей переработке.

Предварительная сортировка улучшает и ускоряет процесс ферментации органических веществ ТБО, облегчает очистку продукта ферментации от примесей, снижает потребную производительность весьма дорогостоящего биотермического и термического оборудования, улучшает состав продукта ферментации, шлака и отходящих газов, улучшает процесс сжигания, упрощает газоочистку, т.е. технология комплексной переработки ТБО повышает экологичность и экономичность традиционной термической и биотермической обработки ТБО.

Перераспределяя материальные потоки отходов, сортировка практически вдвое сокращает потребность в дорогостоящем термическом и биотермическом оборудовании. В то же время капитальные затраты на саму сортировку не превышают 15% от затрат на термо- и биообработку.

Иными словами, рациональная сортировка ТБО, покомпонентная и пофракционная, оптимизирует сопряженные производства. В этом ее главное назначение; извлечение тех или иных продуктов для вторичного использования - это важная, но частная задача сортировки.

Необходимо учитывать, что Мировой банк, согласно рекомендациям международных экологических организаций, отдает приоритет в кредитовании проектам, связанным с рециклинговыми технологиями переработки ТБО.

5. Для практического вовлечения ТБО в комплексную переработку с применением рециклинговых технологий необходим выбор оптимальных комбинационных технических решений для проектирования и строительства каждого завода, исходя из уровня мировой техники, маркетинговых условий, стоимостных

показателей, степени отработанности и готовности технологий к промышленному применению и возможности их адаптации к конкретным российским условиям.

Проекты новых заводов должны учитывать все лучшие мировые достижения в области переработки ТБО, поэтому задача заключается в объективном выборе, на основе тщательного изучения мировой практики и разработок ведущих фирм, последних поколений различных технологических процессов как составной части комбинированной технологии. Привлечение к решению этой сложной задачи разных фирм на тендерной основе может быть связано с одновременной организацией привлечения зарубежных инвестиций.

Детальный анализ показывает, что для использования в схемах комплексной переработки ТБО в российских условиях наиболее перспективны:

- из технологий сортировки – отечественная технология, дополненная рядом прогрессивных элементов европейских разработок, которая может быть укомплектована преимущественно отечественным оборудованием (любая импортная технология сортировки должна быть адаптирована к российским условиям с учетом отечественных разработок – определенная последовательность операций, применение специфических аппаратов и технологических режимов);
- из термических технологий – отечественная технология паро-воздушной газификации и слоевое сжигание на колосниковых решетках, разработанное ведущими фирмами Германии;
- из биотермических технологий – ферментация в туннеле (ферментативная сушка с получением полупродукта, пригодного для термической переработки, получения спирта, использования в производстве строительных материалов, например, по отечественной технологии М.В. Бирюкова, основанной на применении безвредных минеральных вяжущих).

Технология комплексной переработки ТБО является малоотходной и в перспективе станет безотходной, что резко повышает уровень и значимость промышленной переработки ТБО.

Таким образом, комплексное управление муниципальными отходами, базирующееся на использовании научно обоснованного подхода к решению проблемы ТБО, рассматривает во взаимосвязи все технологические аспекты обращения с отходами (с позиций экологии, экономики и ресурсосбережения).