

В.А. КУЗНЕЦОВ, Н.М. КРАПИЛЬСКАЯ, Л.Ф. ЮДИНА

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
ТВЕРДЫХ  
БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

**СБОР  
ЛИКВИДАЦИЯ  
УТИЛИЗАЦИЯ**

МОСКВА

государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА И СТРОИТЕЛЬСТВА

В. А. КУЗНЕЦОВ, Н. М. КРАПИЛЬСКАЯ,  
Л. Ф. ЮДИНА

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ СБОР. ЛИКВИДАЦИЯ. УТИЛИЗАЦИЯ

*Учебное пособие*

*Одобрено Научно-методическим советом института*

★  
Осень 2005  
МКХиС

Издательско-полиграфический центр

**Рецензенты:**

**Чайка Е.А.**, канд. техн. наук, доц. (РАТС при Президенте РФ)  
**Викторов А.С.**, д-р геолог. минералог. наук,  
руководитель лаборатории дистанционного мониторинга  
(институт геоэкологии РАН)

Кузнецов В.А., Крапильская Н.М., Юдина Л.Ф. Экологические проблемы твердых бытовых отходов. Сбор. Ликвидация. Утилизация: Учебное пособие. – М.: ИПЦ МИКХиС, 2005. – 53 с.

В данном учебном пособии рассмотрены принципы комплексного управления отходами, социально-экономические аспекты вторичной переработки отходов; методы переработки и обезвреживания ТБО, создание санитарно-защитных зон с использованием дистанционных методов, дана экономическая оценка переработки отходов.

Учебное пособие адресовано студентам вузов инженерно-строительных специальностей по курсу «Экология».

## **ВВЕДЕНИЕ**

Управление твердыми бытовыми отходами (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, включая информационное обеспечение каждой стадии.

Государственную политику в области обращения с отходами определяют следующие федеральные законы:

- «Об охране окружающей природной среды» (от 19.12.91 г.);
- «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (от 19.04.91 г.); с последующими изменениями и дополнениями;
- «Об экологической экспертизе» (от 19.07.95 г.);
- «Об отходах производства и потребления» (от 10.06.98 г.);

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

- минимизации количества образующихся отходов;
- максимально возможного вовлечения отходов в хозяйственный оборот и их материально-энергетическая утилизация как техногенного сырья;
- изыскание экологически безопасных методов переработки отходов с наименьшими экономическими затратами.

# 1. КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ

Комплексное управление отходами (Integrated Waste Management) начинается с изменения взгляда на то, чем являются бытовые отходы.

Традиционные подходы к проблеме ТБО ориентировались на уменьшение опасного влияния на окружающую среду отходов, путем изоляции свалки от грунтовых вод, очистки выбросов мусоросжигательного завода и т.д. Нетрадиционный взгляд на проблему состоит в том, что гораздо проще контролировать, что попадает на свалку, чем то, что попадает со свалки в окружающую среду. Основа концепции комплексного управления отходами (КУО) состоит в том, что бытовые отходы состоят из различных компонентов, которые не должны смешиваться между собой, а должны утилизироваться отдельно друг от друга наиболее экономичными и экологически приемлемыми способами.

## 1.1. Принципы комплексного управления отходами

ТБО состоят из различных компонентов, к утилизации которых должны применяться различные подходы.

Комбинация технологий и мероприятий, включая сокращение количества отходов, в основном поступающих от промышленных предприятий, включающих вторичную переработку и компостирование, захоронение на полигонах и мусоросжигание – должна использоваться для утилизации тех или иных специфических компо-

нентов ТБО. Все технологии и мероприятия разрабатываются системно, в комплексе, дополняя друг друга.

Муниципальная система утилизации ТБО должна разрабатываться с учетом конкретных местных проблем и базироваться на местных ресурсах.

Комплексный подход к переработке отходов базируется на стратегически долговременном планировании, обеспечивая необходимую гибкость адаптации к будущим изменениям в составе и количестве ТБО и постоянном совершенствовании технологий утилизации. Мониторинг и оценка результатов мероприятий должны непрерывно сопровождать разработку и осуществление программ утилизации ТБО.

Участие городских властей, а также всех групп населения — необходимый элемент любой программы решения проблемы ТБО.

## *1.2. Оценка потоков ТБО и постановка задач*

Современные технологии обработки ТБО требуют большого количества информации о потоках и структуре отходов. Необходимо уметь определять точное количество и состав ТБО. Эти данные применяют при выборе количества автомашин и объема контейнеров для вывоза мусора, при определении размеров станции промежуточного хранения отходов, при маркетинге вторсырья, определении энергетической мощности мусоросжигателя- электростанции или выборе для неё конкретного оборудования.

Оценка отходов включает сбор информации о том, кем, сколько и какие отходы производят, какие применяют методы утилизации и какие при этом могут возникнуть проблемы. Для управления сбором, утилизации объемов ТБО и состава потоков отходов необходимы прогнозные разработки. Особенно стоит подчеркнуть, что оценка ТБО не должна быть одноразовым процессом, так как состав и количество отходов могут резко меняться, так же как и области применения информации о них (табл.1.1 и 1.2).

## Морфологический состав ТБО разных климатических зон, масс. %

Компонент	Климатическая зона*			Россия	США
	средняя	южная	северная		
Морфологический состав ТБО					
Пищевые отходы	35-45	40-49	32-39	20-38	7,4
Бумага, картон	32-35	22-30	26-35	20-36	40,0
Дерево	1-2	1-2	2-5	1-4	3,6
Черные металлы	3-4	2-3	3-4	2-3	8,5
Цветные металлы	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5	2-3	8,5
Текстиль	3-5	3-5	4-6	3-6	2,1
Кости	1-2	1-2	1-2		
Кожа, резина	0,5-1	1	2-3	1,5-2,5	2,5
Стекло	2-3	2-3	4-6		
Камни, штукатурка	0,5-1	1	1-3		
Пластмасса	3-4	3-6	3-4	3-5	8,0
Прочее	1-2	3-4	1-2	10-35,5	20,9
Отсев(менше 15 мм)	5-7	6-8	4-6		

При разработке системы переработки отходов ставятся следующие задачи:

1. Снижение количества отходов уже в процессе производства продукции.
2. Уменьшение отходов за счет их сортировки при сборе.
3. Широкое вторичное использование материалов, полученных из отходов.
4. Удаление остающихся после переработки отходов с минимально возможным риском для окружающей среды и здоровья человека.

\* Данные академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова

## Физико-химический состав и агрохимические показатели\*

Наименование показателя	Характеристика показателя	Величина
Элементный состав на рабочую массу, %	Углерод	17...20
	Водород	2...3
	Кислород	13.. 17
	Азот	0,5...1
	Сера	0,1...0,12
Общие свойства	Зольность на раб. массу, %	10...16
	Зольность на сух. массу, %	20...32
	Органическое вещ-во на сухую массу, %	68...80
	Влажность, %	45...55
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	190...200
	Теплота сгорания низшая на рабочую массу, кДж/кг	5000...6000
Агрохим. показатели, % на сухую массу	Азот общий, N	0,8...1
	Фосфор, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,7...1,1
	Калий, K <sub>2</sub> O	0,5...0,7
	Кальций, CaO	2,3...3,6

\* Данные академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова



## **2. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ**

Основной проблемой в переработке вторсырья является не отсутствие технологий переработки (современные технологии позволяют переработать до 90% общего количества отходов), а отделение вторсырья от остального мусора (и разделения различных компонентов вторсырья). Существует множество технологий, позволяющих разделять отходы и вторсырье. Самая дорогая и сложная из них – извлечения вторсырья из уже сформировавшегося общего потока отходов на специальных предприятиях. Более простые технологии извлечения тех или иных компонентов из потока ТБО могут и должны применяться, например, обогащение ТБО с целью повышения его энергетической ценности и устранения нежелательных элементов перед мусоросжиганием. Более прогрессивные технологии извлечения вторсырья подразумевают ту или иную форму участия общественности – организацию центров по сбору вторсырья или его покупки у населения, мероприятия по раздельному сбору отходов на улицах с помощью специальных контейнеров или организацию системы раздельного сбора отходов на бытовом уровне. Разделение отходов экономически выгодно тогда, когда конечные продукты находят сбыт или когда удается избежать значительной платы за размещение отходов на свалке или их сжигание.

### **2.1. Минимизация количества отходов**

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

Принципиально возможны три взаимодополняющие 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, образовавшихся в нежилом секторе города (отходов рынка, магазинов, учреждений, школ и др.), с последующим извлечением из них ценных компонентов комбинированными методами ручной и механизированной сортировки (на специальных объектах);

– сортировка ТБО в заводских условиях (преимущественно механизированная, так как ручная сортировка отходов жилого фонда на ленте тихоходного конвейера малоэффективна; в ряде случаев технологическая схема может включать элементарную ручную сортировку крупнокусковой фракции ТБО).

Селективный сбор у населения отходов потребления (макулатура, текстиль, пластмасса, стеклогара, металлы и пр.) практикуется во многих странах мира, что предотвращает попадание в ТБО ряда ценных компонентов, перерабатываемых или используемых повторно, а также опасных компонентов. Вместе с тем, учитывая постоянно возрастающие объёмы образования ТБО (ежегодный прирост не менее чем на 3–5%), можно сделать вывод, что проблема ТБО не может быть решена непромышленными методами.

Тем не менее сбор у населения отсортированного, незагрязненного вторичного сырья не противоречит промышленной переработке ТБО и должен рассматриваться как составная часть в решении комплексной проблемы отходов города. Таким образом можно избежать попадания в городской мусор некоторых опасных отходов (отработанные люминесцентные лампы, аккумуляторы и т.д.). Схема управления ТБО города представлена на рис. 2.1.

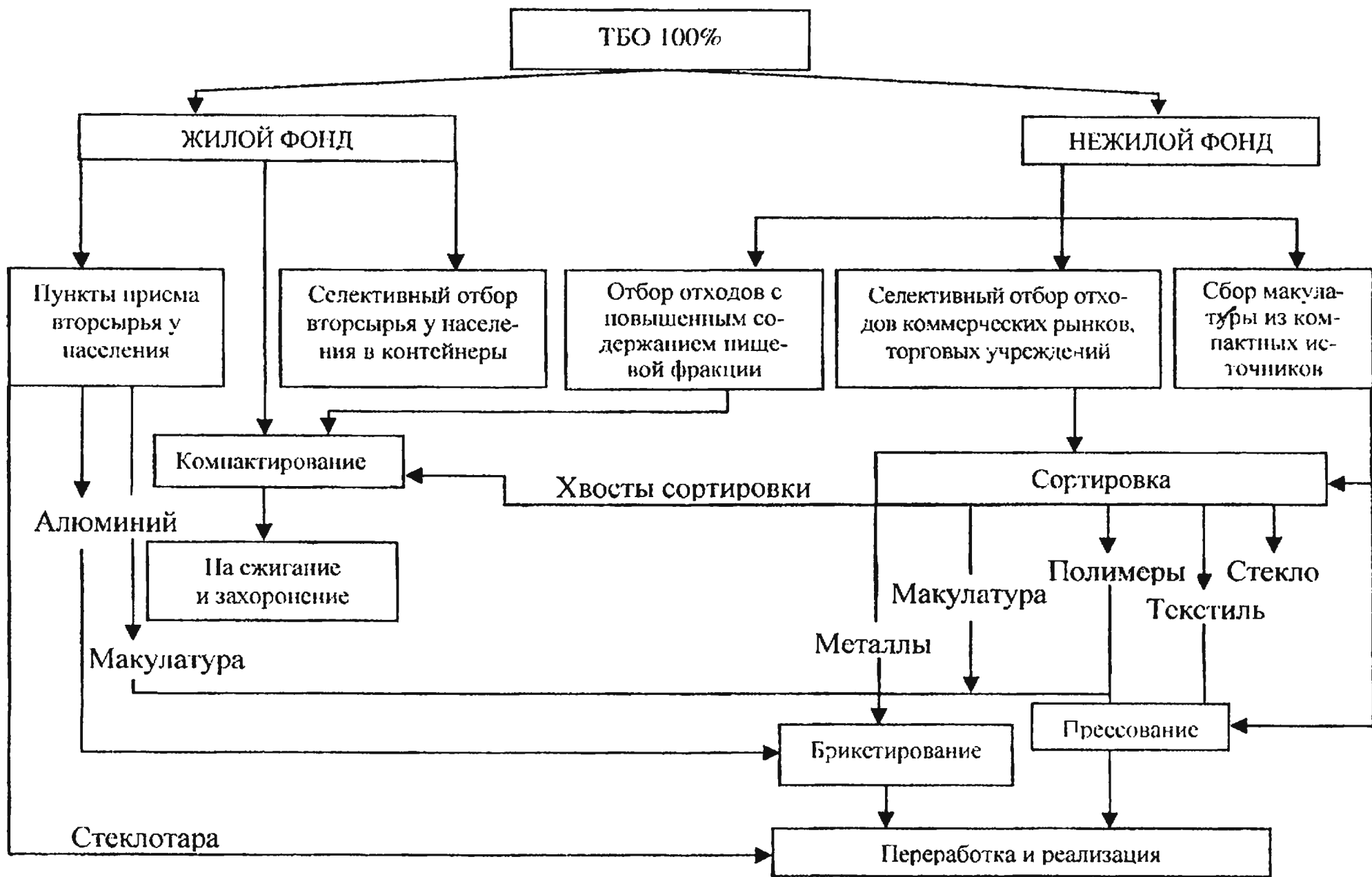


Рис. 2.1. Схема управления ТБО

### 3. МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ. МЕТОДЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТБО

По способу использования ТБО методы могут классифицироваться на следующие (табл. 3.1.):

ликвидация ТБО;

утилизация ТБО.

По технологическому принципу методы обезвреживания могут классифицироваться на

механические ликвидационные (захоронение на свалках, полигонах);

биотермические утилизационные (компостирование);

термические;

химические.

#### 3.1. Захоронение

Захоронение ТБО осуществляется на свалках и специальных полигонах.

С традиционно применявшимися свалками обычно связано множество проблем – они являются рассадниками грызунов и птиц, загрязняют водоемы, самовозгораются, ветер может сдувать с них мусор и т.д. В 50-х годах впервые начинают внедряться так называемые «санитарные полигоны», на которых отходы каждый день пересыпаются почвой.

Свалка или полигон по захоронению отходов представляет собой сложнейшую систему, подробное исследование которой началось только недавно.

При недостатке кислорода органические отходы на свалке подвергаются анаэробному брожению, что приводит к формированию смеси метана и угарного газа (так называемого «свалочного газа»). В недрах свалки также формируется весьма токсичная жидкость («фильтрат»), попадание которой в водоемы или в подземные воды крайне нежелательно.

Требования к современным полигонам включают требования к выбору площадки, конструкции, эксплуатации, мониторингу, выводу и к предоставлению финансовых гарантий (страховка на случай бедствий и пр.)

При выборе площадки необходимо избегать соседства аэропортов, водоемов, участков выхода на поверхность подземных вод, близости водно-болотных угодий, тектонических разломов и сейсмически опасных зон.

Безопасная эксплуатация полигона подразумевает следующие меры:

Таблица 3.1

### Классификация методов переработки и утилизации отходов

Вид отходов	Метод переработки
Металлоотходы	Сортировка (разделение лома и отходов по видам); разделка (удаление неметаллических включений); механическая обработка (рубка, резка, дробление, пакетирование, брикетирование); переплав; складирование; захоронение
Отходы древесины	Прессование, резка, сжигание, складирование
Отходы пластмасс	Прессование, сжигание, захоронение
Высокотоксичные отходы	Затаривание в специальные контейнеры и захоронение
Органические горючие вещества	Дробление, прессование, сжигание, захоронение
Неисправные лампы	Демеркуризация ламп, утилизация ртути
Песок, загрязненный нефтепродуктами; формовочная земля	Прокаливание, захоронение
Испорченные баллоны с остатками вещества	Подрыв баллонов в специальных камерах, захоронение
Радиоактивные отходы	Затаривание в специальные контейнеры и захоронение на специальных предприятиях

– процедуры исключения опасных отходов и ведение записи по всем принимаемым отходам и точным координатам их захоронения;

– обеспечение ежедневного покрытия сваливаемых отходов грунтом или специальной пеной для предотвращения разноса отходов;

– борьбу с переносчиками болезней (крысами и т.д.), что обычно обеспечивается использованием ядохимикатов;

– откачку взрывоопасных газов из недр свалки (метан может быть использован для производства электроэнергии, например, по всей Великобритании подобные установки производят 80 МВт);

– контролируемый доступ людей и животных на полигон – периметр должен быть огорожен и охраняться;

– гидротехнические сооружения должны минимизировать попадание дождевых стоков и поверхностных вод на полигон;

– поверхностные стоки с полигона должны направляться на очистку; жидкость, которая выделяется из отходов, не должна попадать в подземные воды – для этого создаются специальные системы водоотведения и гидроизоляции;

– должен осуществляться регулярный мониторинг воздуха, грунтовых и поверхностных вод в окрестностях полигонов.

Особое внимание должно уделяться выводу полигона из эксплуатации с последующей рекультивацией. Как правило, исходный проект полигона должен включать план мероприятий по рекультивации, длительному мониторингу закрытого полигона и т.п.

## *3.2. Компостирование*

Компостирование – это технология переработки отходов, основанная на их естественном биоразложении. Наиболее широко компостирование применяется для переработки отходов органического – прежде всего – растительного – происхождения, таких как листья, ветки и скошенная трава.

Существуют технологии компостирования пищевых отходов, а так же неразделенного потока ТБО.

В России компостирование с помощью компостных ям часто применяется населением в индивидуальных домах или на садовых участках. В то же время процесс компостирования может быть централизован и проводиться на специальных площадках. Существует несколько технологий компостирования, различающихся по стоимости и сложности. Более простые и дешевые технологии требуют больше места и процесс компостирования занимает больше времени.

Различные технологии компостирования:

*Минимальная технология.* Компостные кучи – 4 метра в высоту и 6 метров в ширину. Переворачиваются раз в год. Процесс компостирования занимает от одного до трех лет в зависимости от климата. Необходима относительно большая санитарная зона.

*Технология низкого уровня.* Компостные кучи – 2 метра в высоту и 3-4 в ширину. В первый раз кучи переворачиваются через месяц. Следующее переворачивание и формирование новой кучи – через 10-11 месяцев. Компостирование занимает 16-18 месяцев.

*Технология среднего уровня.* Кучи переворачиваются ежедневно. Компост готов через 4-6 месяцев. Капитальные и текущие затраты выше.

*Технология высокого уровня.* Требуется специальная аэрация компостных куч. Компост готов уже через 2-10 недель.

Конечным продуктом компостирования является компост, который может найти различные применения в городском и сельском хозяйстве.

Возможные рынки сбыта компоста:

садовые участки; предприятия; питомники; теплицы; кладбища; предприятия сельского хозяйства; ландшафтное строительство; общественные парки; придорожные полосы; рекультивация земель; покрытие свалок; рекультивация горных разработок; рекультивация городских пустырей.

Компостирование, применяемое в России на механизированных мусороперерабатывающих заводах, например, в Санкт-Петербурге, представляет из себя процесс сбрасывания в биореакторах всего объема ТБО, а не только его органической составляющей. Хотя характеристики конечного продукта могут быть значительно улучшены путем извлечения из отходов металла, пластика и т.д., все же он представляет собой достаточно опасный продукт и находит очень ограниченное применение (на Западе такой «компост» применяют только для покрытия свалок).

Конкретная доза внесения компоста зависит от астрономических требований к возделываемой культуре, но не должна приводить к превышению предельно допустимой концентрации (ПДК) почвы ни по каким показателям согласно утвержденным нормативам:

- Предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в почве, утвержденные Минздравом СССР, № 6229-91;
- Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов в почве, утвержденные ГК СЭН РФ 27.12.1994, пр. № 12.

### 3.2.1. Вермикомпостирование

Одной из наиболее серьезных экологических проблем является утилизация токсичных продуктов производственной деятельности человека. Один из путей ее решения – биodeградация. В связи с этим актуальным является поиск микроорганизмов, способных осуществлять трансформацию ксенобиотиков, а также продуцентов-ферментов, способных осуществлять подобные биохимические реакции. Особый интерес представляет полученная путем селекции высокопродуктивная популяция червя «*Eisenia foetida*», получившая название «красный калифорнийский червь».

В промышленных масштабах вермикомпостирование интенсивно развивается в Германии, Италии, Японии, Великобритании, Франции, Швейцарии и т.д.

В таких странах, как Япония, США, Швейцария накоплен значительный опыт промышленной переработки отходов, трудно поддающихся утилизации – в частности, отходов целлюлозно-бумажных производств. Учитывая, что исходное сырье для вермиккультуры может содержать токсические загрязнения, получаемые удобрения вносят только под технические культуры.

В России этим вопросом занимаются с 1990 г. Опытно-производственная установка по переработке ТБО прошла апробирование в городе Ангарске (Иркутская область) на территории бывшего завода белково-витаминных концентратов в 1997–2000 гг. На данном опытном предприятии в течение 3-х последних лет отработывался метод переработки ТБО с помощью вертикальных аппаратов вермитрансформации.



Производственный процесс переработки ТБО планируется из пяти частей:

- первичная сортировка;
- биотермическое компостирование;
- вторичная сортировка;
- вертикальная вермитрансформация;
- сушка и подготовка готовой продукции.

### *3.3. Мусоросжигание*

Мусоросжигание – это наиболее сложный и «высокотехнологичный» вариант обращения с отходами. Сжигание требует предварительной обработки ТБО (с получением так называемого топлива, извлеченного из отходов). При разделении из ТБО стараются удалить крупные объекты, металлы (как магнитные, так и немагнитные) и дополнительно его измельчить. Для того, чтобы уменьшить вредные выбросы из отходов, также извлекают батарейки и аккумуляторы, пластик, листья. Сжигание неразделенного потока отходов в настоящее время считается чрезвычайно опасным. Таким образом, мусоросжигание может быть только одним из компонентов комплексной программы утилизации.

Сжигание позволяет примерно в 3 раза уменьшить вес отходов, устранить некоторые неприятные свойства: запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, привлекательность для птиц и грызунов, а также получить дополнительную энергию, которую можно использовать для получения электричества или отопления.

В России термическая переработка ТБО началась с 1972 г., когда в восьми городах СССР было установлено 10 мусоросжигательных заводов первого поколения. Все эти заводы были практически без газоочистки и почти не использовали вырабатываемое тепло. Кроме того, необходимо дополнительное топливо извне, так как сам мусор имеет низкую теплотворную способность.

Экологические негативные воздействия мусоросжигательных заводов (МСЗ) в основном связаны с загрязнением воздуха, в первую очередь мелкодисперсной пылью, оксидами серы и азота, фу-

ранами и диоксинами. Серьезные проблемы возникают также с захоронением золы от мусоросжигания, которая по весу составляет до 30% от исходного веса отходов и которая в силу своих физических и химических свойств не может быть захоронена на обычных свалках. Для безопасного захоронения золы применяются специальные хранилища с контролем и очисткой стоков.

В России МСЗ серийно не производятся. Говоря о социально-экономических аспектах мусоросжигания, следует отметить, что строительство и эксплуатация МСЗ требует значительных объемов финансирования. Во многих случаях компания, владеющая МСЗ, стремится подписать договор с городом, в котором будет предусмотрена обязательная поставка определенного количества и состава ТБО в сутки. Такие условия делают фактически невозможным осуществление программ вторичной переработки, компостирования или других значительных изменений в методах утилизации. Поэтому строительство МСЗ требует очень тщательной координации с другими аспектами программы управления ТБО и к этому варианту надо обращаться только после того, как другие программы уже спланированы.

Целенаправленное промышленное использование ТБО как топлива началось со строительством первого «мусоросжигательного заведения» близ Лондона в 1870 г. Однако активное применение ТБО как энергетического сырья началось с середины 70-х гг. в связи с углублением энергетического кризиса. Было подсчитано, что при сжигании 1 т ТБО можно получить 1300–1700 кВт·ч тепловой энергии или 300 – 550 кВт·ч электроэнергии.

Именно в этот период началось строительство крупных МСЗ в таких городах, как Мадрид, Берлин, Лондон и в странах с относительно малой площадью и высокой плотностью населения. К 1992 г. в мире действовало около 400 заводов, на которых применялось сжигание ТБО с производством пара и выработкой электроэнергии, а к 1996 г. их количество достигло 2400.

Пиролиз ТБО. Перспективным методом утилизации некомпостируемых ТБО является пиролиз – разложение органических соединений при высокой температуре.

В связи с перспективностью совместной термической переработки осадка сточных вод и компоста ТБО ниже приводятся описание завода МПБО и результаты испытаний термообработки ТБО и компоста на экспериментальной установке (рис. 3.1).

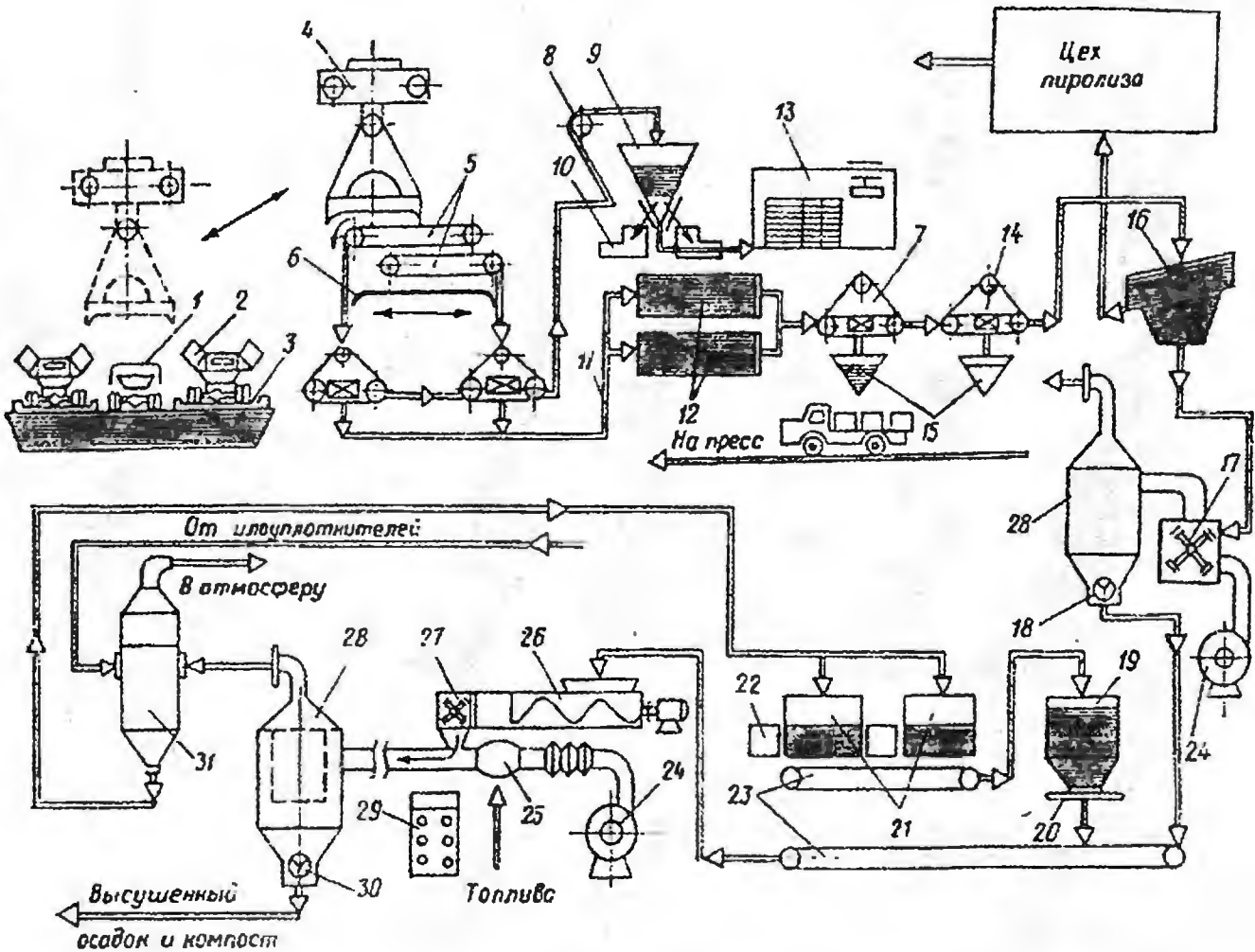


Рис. 3.1. Схема совместной переработки ТБО и осадка сточных вод:  
 1 – мусоровоз М-5201, 2 – мусоровоз МКМ-8/9;  
 3 – приемный бункер; 4 – грейфер; 5 – питатель пластинчатый,  
 6 – конвейер реверсивный; 7 – сепаратор электромагнитный СЗ-1;  
 8 – шкив электромагнитный; 9 – бункер; 10 – пресс гидравлический;  
 11 – конвейер В-1200; 12 – биобарабаны; 13 – склад черного металла;  
 14 – сепаратор цветных металлов; 15 – бункеры-накопители металлов;  
 16 – барабанный грохот ПЦ-04-01; 17 – шахтная мельница;  
 18 – тарельчатый питатель; 19 – аккумулирующий бункер;  
 20 – тарельчатый питатель; 21 – бункеры; 22 – центрифуги;  
 23 – ленточный транспортер; 24 – турбовоз духовки;  
 25 – камера сгорания; 26 – винтовой питатель; 27 – дробилка;  
 28 – циклон; 29 – пульт управления; 30 – шлюзовый питатель; 31 – скруббер

Технические и экономические факторы сопоставления различных методов свидетельствуют о том, что наиболее перспективными на ближайшие годы может стать совместная переработка твердых бытовых отходов и осадков сточных вод, а также пиролиз не компостируемых твердых бытовых отходов с утилизацией тепла для термической обработки осадков.

### *3.3.1. Ленинградский завод механизированной переработки твердых бытовых отходов*

Одним из первых в стране был построен Ленинградский завод механизированной переработки твердых бытовых отходов.

Площадь самостоятельной застройки завода составляет 33 га, в том числе площадь производственного комплекса и технологического склада – 7 га, складов готовой продукции и площадок дозревания компоста – 26 га.

В состав завода входят следующие основные производственные корпуса: приемно-сортировочный, промежуточный, главное отделение контрольной сортировки, цех пиролиза. Схема технологических операций показана на рис. 3.2, 3.3.

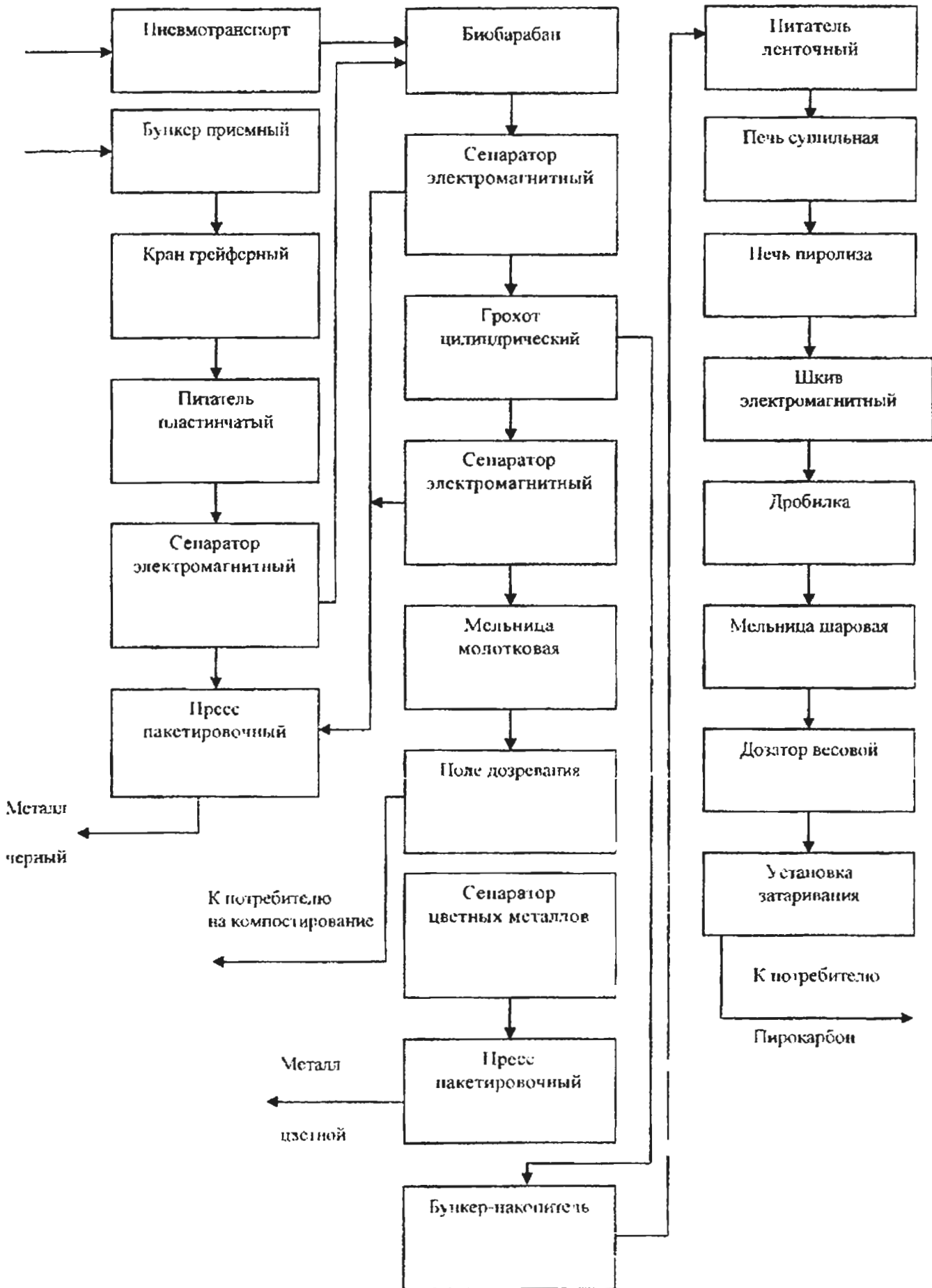


Рис. 3.2. Схема технологических операций Ленинградского завода механизированной переработки ТБО

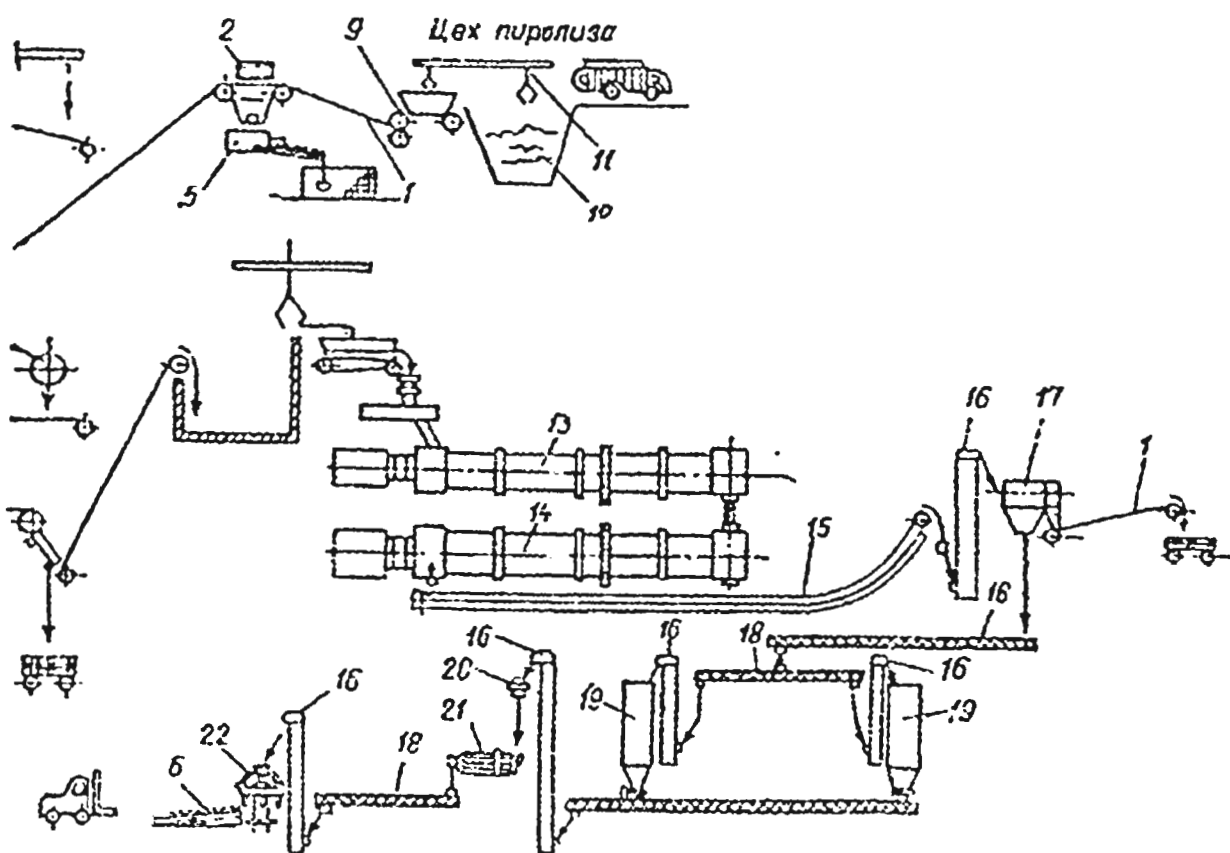
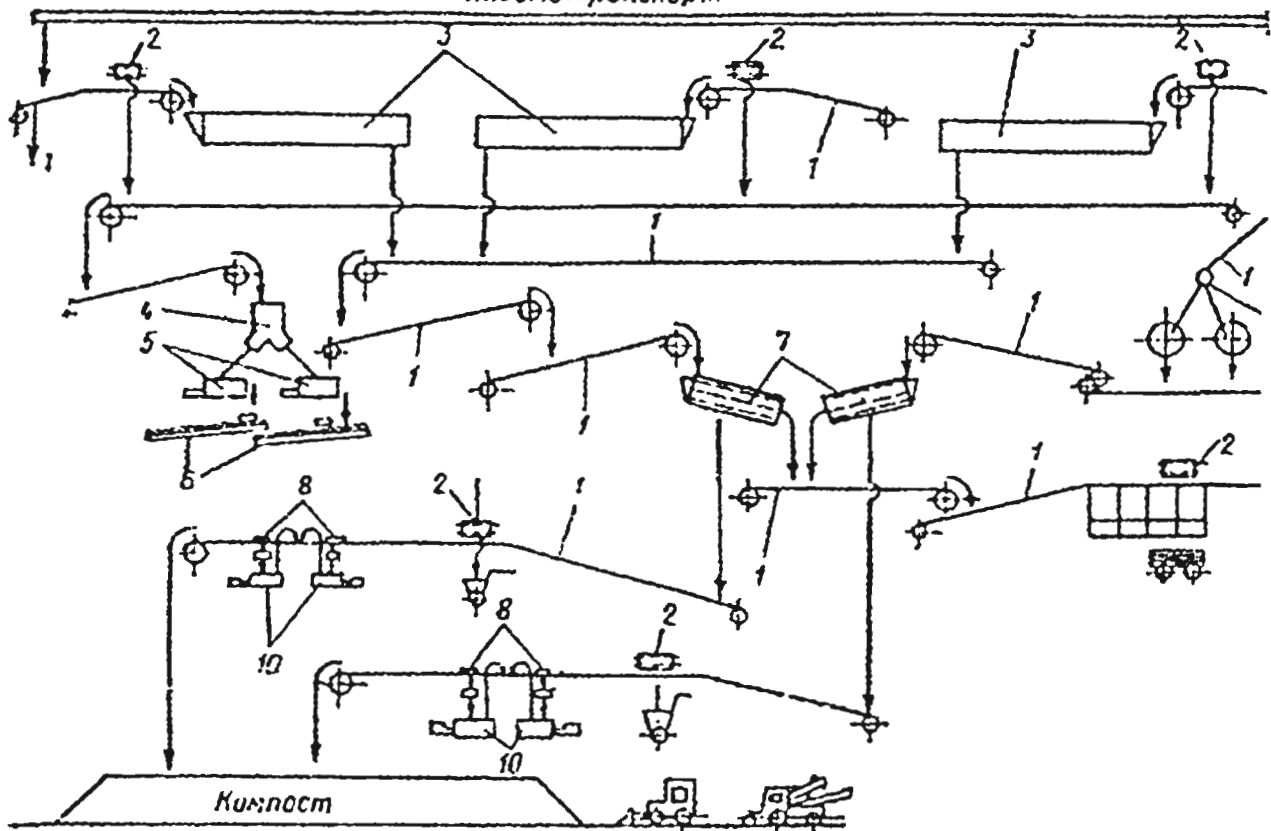


Рис. 3.3. Технологическая схема Ленинградского завода МПТБО:

- 1 - конвейер ленточный; 2 - железотделитель ленточный;
- 3 - биобарабан; 4 - бункер металла; 5 - пресс гидравлический;
- 6 - рольганг; 7 - грохот цилиндрический; 8 - сбрасыватель плужковый;
- 9 - питатель; 10 - мельница молотковая; 11 - рейферный кран;
- 12 - бункер приемный; 13 - сушильный барабан; 14 - печь пиролиза;
- 15 - скребковый контейнер; 16 - элеватор; 17 - сито;
- 18 - конвейер винтовой; 19 - бункер-накопитель; 20 - питатель гарелочный;
- 21 - мельница шаровая; 22 - установка затаривания

Технико-экономические показатели завода механизированной переработки бытовых отходов:

• производительность завода, тыс. м <sup>3</sup>	900;
• выход компоста, биотоплива, тыс. т	150;
• получение черного металлолома, тыс. т	5;
• получение цветного металла, т	100;
• производство пирокарбона, тыс. т	10.

Твердые бытовые отходы доставляются на завод в специальных мусоровозных контейнерных машинах. Мусоровозы отгружают бытовые отходы в приемный бункер-накопитель, состоящий из двух параллельных секций. Глубина бункера 14 м. Общая емкость их 1800 м<sup>3</sup>. Боковые стенки имеют уклон 55° и футерованы стальными листами. Рабочая зона грейферных кранов располагается в центральной части каждого бункера.

Разгрузочные площадки (мосты) позволяют мусоровозам проезжать сквозь приемное отделение. Они располагаются над наклонными стенками. По наклонным стенкам сгруженный мусор сыпается в центральную часть бункера, откуда забирается двумя грейферными ковшами емкостью 2,5 м<sup>3</sup>.

Емкость бункера и темпы поступления твердых бытовых отходов спроектированы таким образом, что основная масса ТБО должна находиться в бункере не более 24 ч.

Грейферные краны подают отходы в две технологические линии, оборудованные питателями шириной 1600 мм. Питатели подают ТБО через ленточные транспортеры на электромагнитную сепарацию. Отобранный металл попадает в бункер, откуда поступает на пресс, где из него формируются пакеты массой 60-70 кг каждый. Ширина ленты конвейеров, над которыми установлены сепараторы, принята 1200 мм, скорость движения ленты – 1 м/с.

После электромагнитной сепарации мусор поступает на биотермическую обработку. В шести вращающихся барабанах (диаметром 4 м и длиной 60 м каждый) происходит основная технологическая операция – обеззараживание ТБО с получением компоста или биотоплива.

Прошедший обеззараживание и измельчение материал из шести барабанов направляется в отделение контрольной сортировки. Подрешетный продукт (компост или биотопливо) отправляется на измельчение до необходимой фракции на шахтные мельницы, от-

куда подается на поле дозревания и затем – к потребителю на специальные накопительные площадки. Емкость склада обеспечивает хранение компоста в объеме двух месячных производительностей завода. Надрешетный продукт поступает в цех пиролиза, где производится его термическое разложение на газ, смолу и углеродосодержащий материал (пирокарбон).

Агрохимическая ценность компоста исследовалась в объединении «Детскосельский», которое является основным потребителем компоста и биотоплива завода. Биотопливо использовалось для выращивания ранних овощей в закрытом грунте с последующим использованием в открытом грунте в качестве удобрения.

Положительные результаты, полученные совхозами при использовании компоста в качестве удобрения, резко повысили спрос на него (потребность в компосте в 3 раза превысила его производство на заводе).

Перегоревшее биотопливо из теплиц повторно использовалось в качестве органического азотистого удобрения в открытом грунте. Его эффективность такая же, как и у компоста, забранного непосредственно с завода.

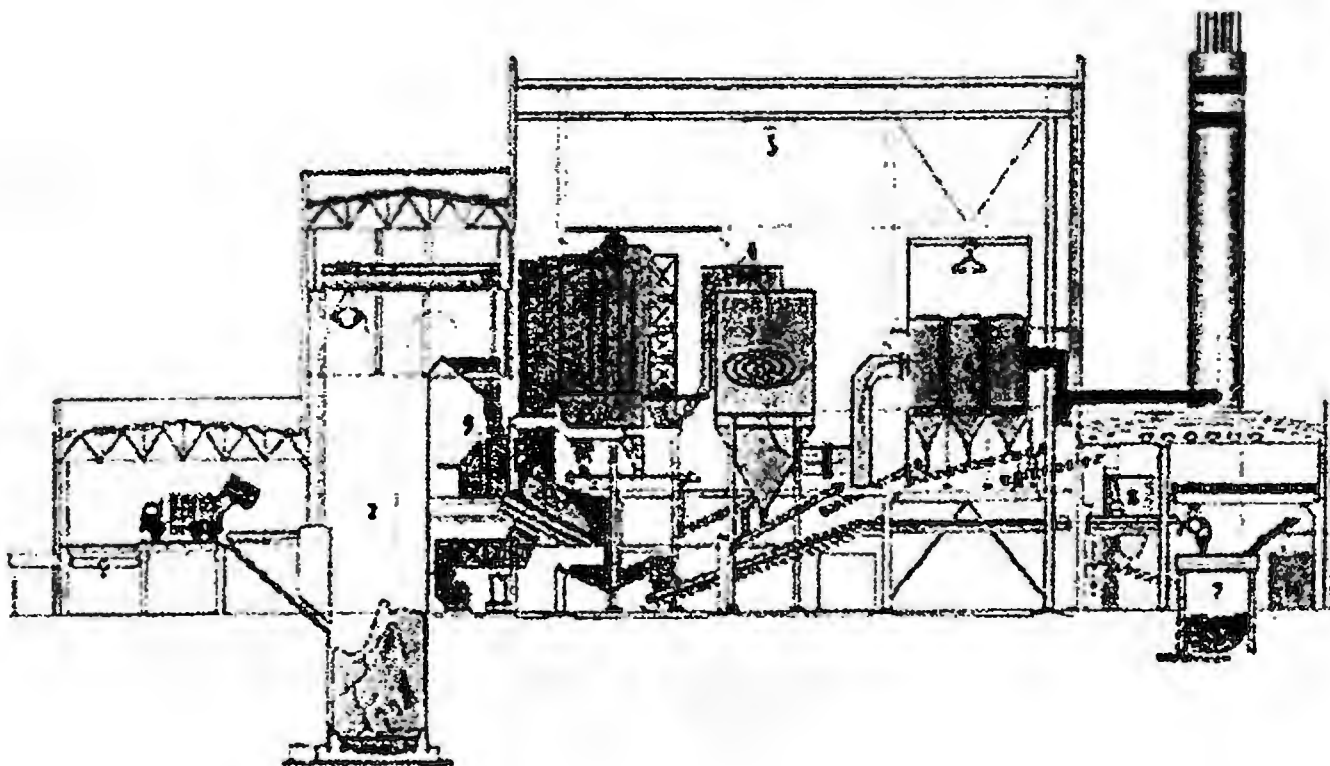
Содержание удобрительных элементов в компосте, полученном из твердых бытовых отходов на заводе МПБО (в процентах по массе), представлено в табл. 1.2.

Наиболее целесообразным является комбинированное использование компоста из бытовых отходов в качестве биотоплива и удобрения. Это особенно важно для загородной зоны, где почвы нуждаются в органических удобрениях.

### *3.3.2. Московские заводы переработки ТБО*

Спецзавод № 2 (рис. 3.4, 3.5) введен в эксплуатацию в 1985 г. Завод построен при участии фирмы КНИМ (Франция); основное технологическое оборудование изготовлено в ФРГ. Завод занимает площадь 2,1 га. Проектная производительность завода – 75 тыс. т/год. Основное технологическое оборудование завода – два котлоагрегата с обратноперегревающими решетками системы «Мартин» производительностью 8,3 т/час (при теплоте сгорания ТБО 6300 кДж/кг). Температура сжигания – 800–1000<sup>0</sup>С.





**Рис. 3.4.** Завод термической переработки бытовых отходов (Северо-Восточный административный округ Москвы):

- 1 – приемное отделение; 2 – основной бункер отходов;  
 3 – котел-утилизатор; 4 – впрыск; 5 – абсорбер; 6 – рукавный фильтр;  
 7 – бункер шлака; 8 – бункер золы; 9 – система поджига.

Номинальная паропроизводительность котла-утилизатора – 14,5 т/час., система очистки газов – одностадийная (электрофильтр). Извлечение черного металла из шлаков сжигания не превышало 25%. В 1995 г. Спецзавод № 2 был остановлен на реконструкцию.

Решением Правительства Москвы о реконструкции МСЗ-2 предписывалось увеличение мощности завода до 130 тыс. т ТБО в год с одновременным уменьшением количества вредных выбросов в окружающую среду и улучшением экологической обстановки в районе завода. Для выполнения указанной задачи была опять привлечена французская фирма «КНИМ», которая должна была разработать и поставить три модернизированные технологические линии производительностью по сжигаемому ТБО 8,33 т/ч каждая.

Кроме того, решением Правительства Москвы предусматривалось использование тепла, получаемого при сжигании ТБО, для выработки электроэнергии.

В 2002 г. в Москве осуществлен пуск в эксплуатацию первой очереди принципиально нового для России мусоросжигательного завода производительностью 300 тыс. т ТБО в год. Завод состоит из отделений подготовки и сортировки ТБО, сжигания не утилизируемой части ТБО, очистки дымовых газов от вредных примесей, переработки золы и шлака, энергоблока и других вспомогательных отделений. Технологическая схема завода по переработке не утилизируемой части ТБО включает в себя три технологические линии с печью кипящего слоя, котлами производительностью 22-25 т/ч, газоочистным оборудованием и две турбины по 6 МВт каждая.

На заводе внедряется ручная и механическая сортировка ТБО и его дробление. Такая технологическая переработка ТБО позволяет: во-первых, отобрать ценное сырье для его вторичной переработки; во-вторых, отобрать пищевую фракцию ТБО для его последующего компостирования; в-третьих, отобрать сырье, представляющее экологическую опасность при его сжигании; и наконец, это позволит повысить теплотехнические и экологические показатели сырья, предназначенного для сжигания. Благодаря такой подготовке низшая теплота сгорания ТБО, предназначенного к сжиганию, достигнет 9 МДж/кг, а по содержанию золы, влаги, серы и азота характеристики ТБО будут практически соответствовать аналогичным характеристикам подмосковных бурых углей.



Рис. 3.5. Мусоросжигательный завод № 2

Как видим из приведенных примеров, в Москве достаточно активно наметилась тенденция по повышению теплотехнических характеристик ТБО с последующим использованием его для выработки электроэнергии. По-видимому, немаловажное значение на это оказало намеченное в Москве широкое внедрение крупных сортировочных комплексов ТБО.

Однако следует отметить, что низкие параметры пара, применяемые на отечественных мусоросжигательных заводах ( $G = 15-35$  т/ч,  $P = 6$  ата.,  $T = 240^{\circ}\text{C}$ ), существенно снижают удельные показатели по выработке электроэнергии по сравнению с паросиловыми электростанциями ( $G = 640$  т/ч,  $P = 140$  ата.,  $T = 540^{\circ}\text{C}$ ). Применение аналогичных мощностей и параметров пара на МСЗ ограничено свойствами ТБО: кусковое топливо, низкая температура плавления золы и коррозионные свойства дымовых газов, получаемых при сжигании ТБО.

Существенного повышения эффективности применения ТБО как топлива для выработки электроэнергии и достижения удельных показателей, близких к серийно применяемым ТЭС, по всей видимости, можно достигнуть за счет частичного замещения энергетического топлива бытовыми отходами.

В этом случае при сжигании на ТЭС бурого угля целесообразно использовать предтопок для сжигания ТБО с направлением дымовых газов, получаемых в предтопке, в топочное пространство существующего котельного агрегата. При сжигании на ТЭС природного газа целесообразно использовать установку для газификации ТБО с последующей очисткой полученного продукт-газа и сжиганием его в топках котлов, работающих на природном газе.

Спецзавод № 3 (рис. 3.6) вошел в эксплуатацию в 1983 г. Основное технологическое оборудование изготовлено фирмой «Волунд» (Дания). Завод занимает площадь 3,5 га. Проектная производительность – 200 тыс.т. ТБО в год (в настоящее время – 110 тыс. т/год). Основное технологическое оборудование – четыре котлоагрегата с наклоннопереталкивающими решетками и дожигательными барабанами. Производительность одного котлоагрегата – 12,5 т/час. Производительность котла-утилизатора – 26 т/час. Несмотря на установку дожигательных барабанов, процесс сжигания протекает неудовлетворительно. Суммарный выход шлака и золы – не менее 35% (от исходного). Система газоочистки

– одностадийная (электрофильтр). В середине 90-х годов на заводе смонтирована дорогостоящая вторая стадия газоочистки, но практически она оказалась неработоспособной и до настоящего времени не задействована. В 1989 г. проанализированы пробы шлака и летучей золы Спецзавода № 3. Установлено, что содержание в шлаке составило, г/кг: железа – 24,4; цинка – 11,5; меди – 0,49; никеля – 0,12; хрома – 0,13; кадмия – 0,015; ртути – 3,8. Состав летучей золы, г/кг: железа – до 48,5; цинка – 4,1 – 7,7; меди – 0,28 – 0,86; никеля – до 0,14; хрома – 0,13 – 0,35; кадмия – до 0,055, ртути – 2,5 – 5,5. В составе отходящих газов обнаружены дибензодиоксины и дибензофураны (исследования были проведены по линии Госкомприроды СССР). Металлы из шлаков сжигания не выделяются.

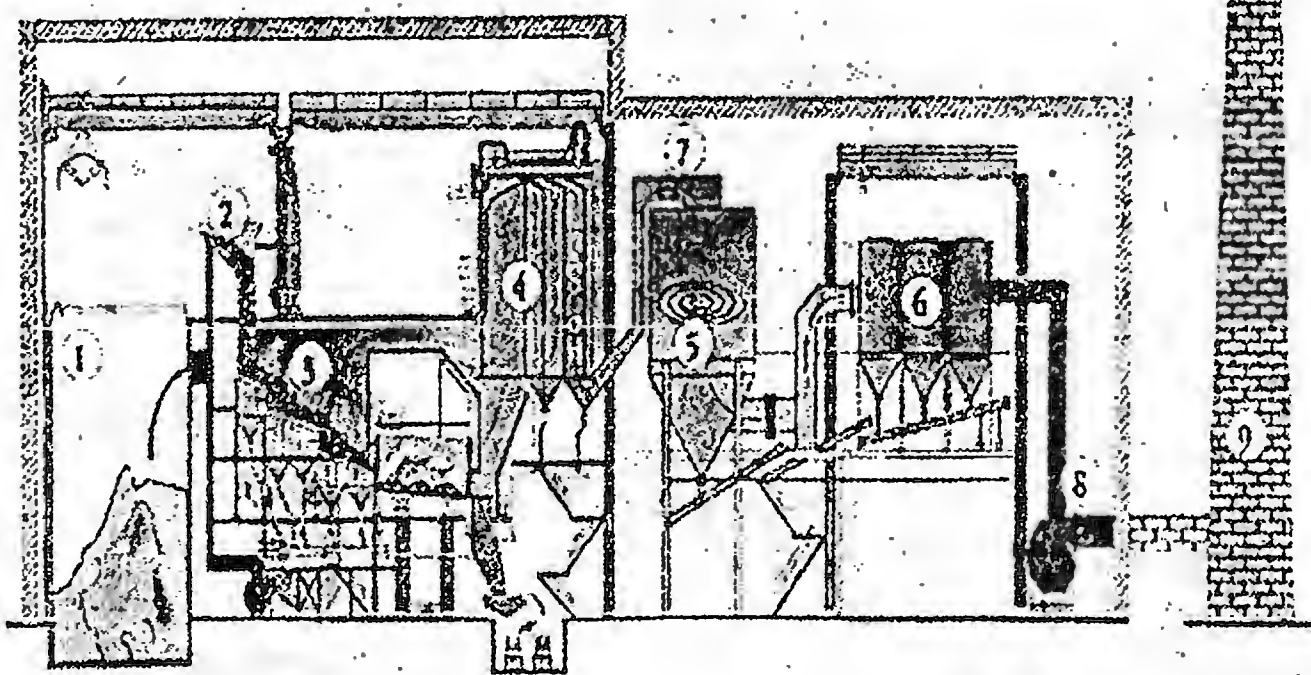


Рис. 3.6. Проект завода по термической переработке бытовых отходов (Южный административный округ Москвы):

- 1 – бункер отходов; 2 – загрузочная воронка; 3 – печь сжигания;  
 4 – котел-утилизатор; 5 – адсорбер (реактор); 6 – рукавный фильтр;  
 7 – впрыск реагентов; 8 – дымосос; 9 – дымовая труба

## 3.4. Методы сепарации отдельных компонентов ТБО

### 3.4.1. Технология извлечения черного металлолома

На Российских и работающих в странах СНГ мусороперерабатывающих заводах черный металлолом извлекают из ТБО, транспортируемых технологическими конвейерами (до загрузки их в биобарабан), а также из компоста и отсева, с помощью подвесных ленточных саморазгружающихся электромагнитных железоотделителей (сепараторов).

Сепаратор состоит из рамы (рис. 3.7), электромагнита, ведомого и ведущего барабанов, верхних, поддерживающих ленту, барабанов, разгрузочной ленты, привода. Натяжение разгрузочной ленты производят перемещением ведомого барабана по отношению к раме.

Сепаратор подвешивают над технологическим конвейером. Металлолом притягивается электромагнитом и разгрузочной лентой, оснащенной скребками, выводится из зоны действия магнитного поля в зону разгрузки.

Высота подвески и сила питающего тока ленточных магнитных сепараторов могут регулироваться, что позволяет в широких пределах менять магнитное поле. Оптимальное магнитное поле выбирают из условия извлечения из ТБО экономически и технологически оправданного металлолома. При слишком высокой напряженности магнитного поля будет извлекаться практически весь черный металл, но вместе с ним и немагнитные фракции, что приведет к недопустимому засорению металлолома. Напряженность магнитного поля в 20 кА/м достаточна для извлечения пустых консервных банок, 40 кА/м – для частично заполненных, 80 кА/м – для извлечения в любой степени заполненных банок. Сепаратор подвешивают как можно ниже, но так, чтобы лента сепаратора и «прилипшие» к ней материалы не касались самых крупных частей ТБО или компоста.

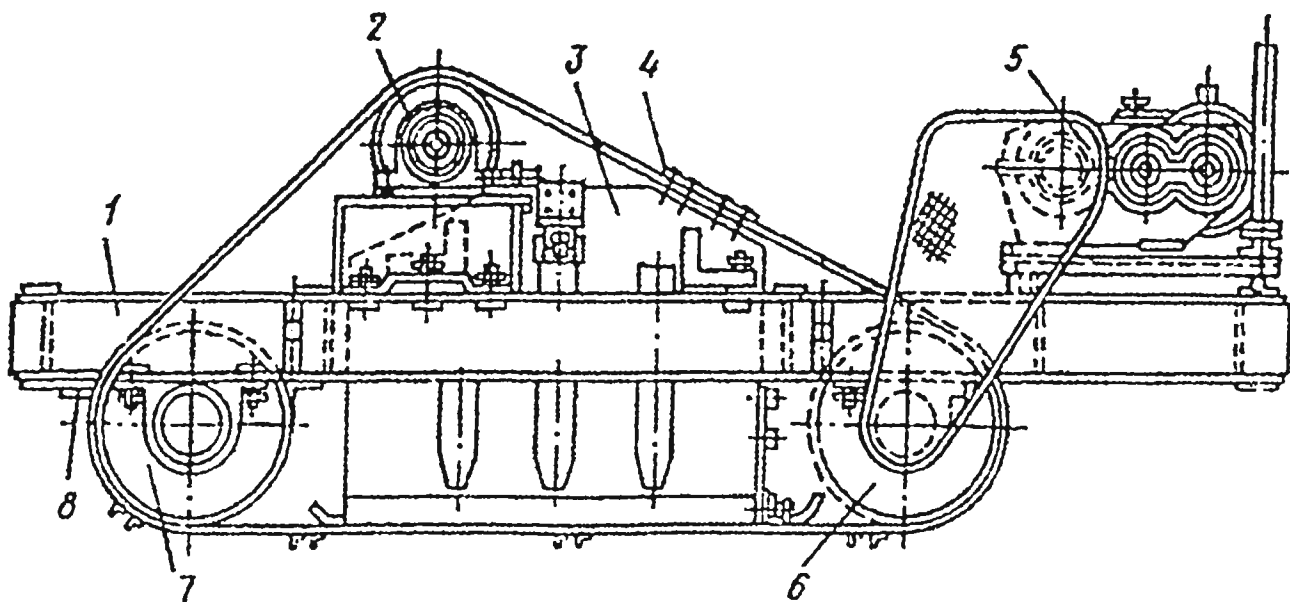


Рис. 3.7. Подвесной ленточный электромагнитный сепаратор ПС-120М:  
 1 – рама; 2 – верхний промежуточный барабан; 3 – электромагнит;  
 4 – разгрузочная лента; 5 – привод; 6 – ведущий барабан;  
 7 – ведомый барабан; 8 – натяжной винт.

Напряженность магнитного поля в толще сепарируемого материала должна поддерживаться на уровне 55 - 60 кА/м. Повышению эффективности электромагнитной сепарации способствует снижение толщины слоя сепарируемого материала, предварительное грохочение, а также ворошение материала. Сепараторы, устанавливаемые после мусоросжигательных печей для извлечения банок, заполненных мокрой золой, должны обеспечивать напряженность магнитного поля около 80 кА/м.

### 3.4.2. Технология извлечения цветного металлолома

Цветной металлолом (содержание которого в ТБО до 1990 г. не превышало 0,1...0,3 %, а после 1995–1999 гг. увеличилось до 0,5...0,7 %) извлекают из компоста и крупного отсева.

Принцип работы сепаратора цветных металлов основан на использовании вихревых токов (токов Фуко), возникающих в проводнике, попадающем в переменное магнитное поле. Эти токи вызывают вторичное магнитное поле, взаимодействующее с первичным магнитным полем. В результате проводник выбрасывается из зоны действия первичного поля.

Сепаратор включает в себя индукторную систему (рис. 3.8), состоящую из одного большого и двух малых индукторов, систему вентиляции (охлаждения), систему электрооборудования и металлоконструкции.

Система электрооборудования содержит блок батарей для компенсации реактивной мощности линейных двигателей (индукторов). Электрооборудование обеспечивает индивидуальное включение линейных двигателей индукторной системы, системы вентиляции и тепловую защиту. Несущая металлоконструкция обеспечивает установку индукторов в рабочем положении, регулировку зазора между активной поверхностью линейных двигателей и лентой конвейера, расположенной над индукторами.

На обмотки индукторов подает трехфазный ток промышленной частотой 50 Гц. Бегущее электромагнитное поле создает электродинамическую силу, выталкивающую фракции цветного металла. Извлеченный металл попадает в точки, расположенные с обеих сторон от ленты конвейера.

Сепаратор цветного металла располагают в схеме завода только после сепаратора черного металла.

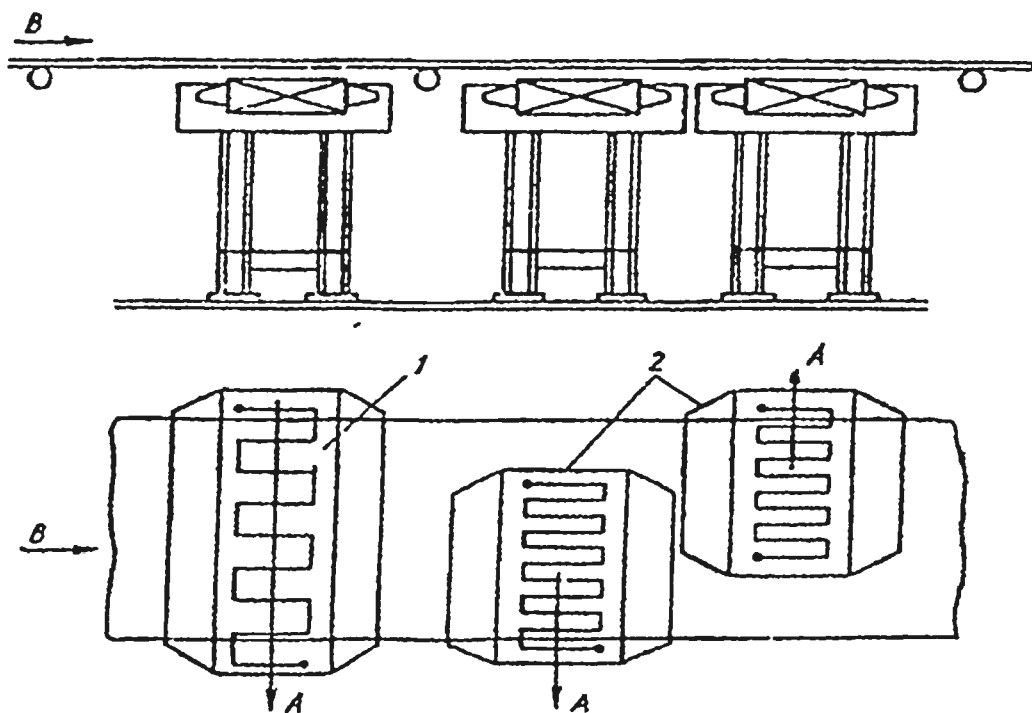


Рис. 3.8. Индукционная система сепаратора цветных металлов КМ-203А:

1 – большой индуктор; 2 – малые индуктора;

А – направление движения лома цветных металлов;

В – направление движения ленты конвейера

Для снижения установленной мощности и расхода электроэнергии рядом зарубежных фирм выпускаются сепараторы цветных металлов, в которых используют постоянные магниты. Для создания переменного магнитного поля, которое необходимо для сепарации цветных металлов, постоянные магниты устанавливаются на вращающихся шкивах. Причем скорость вращения магнитной системы должна быть существенно выше скорости вращения шкива. На рис. 3.9 представлена принципиальная схема сепаратора цветных металлов, разработанная английской фирмой MASTER MAGNETS LIMITED.

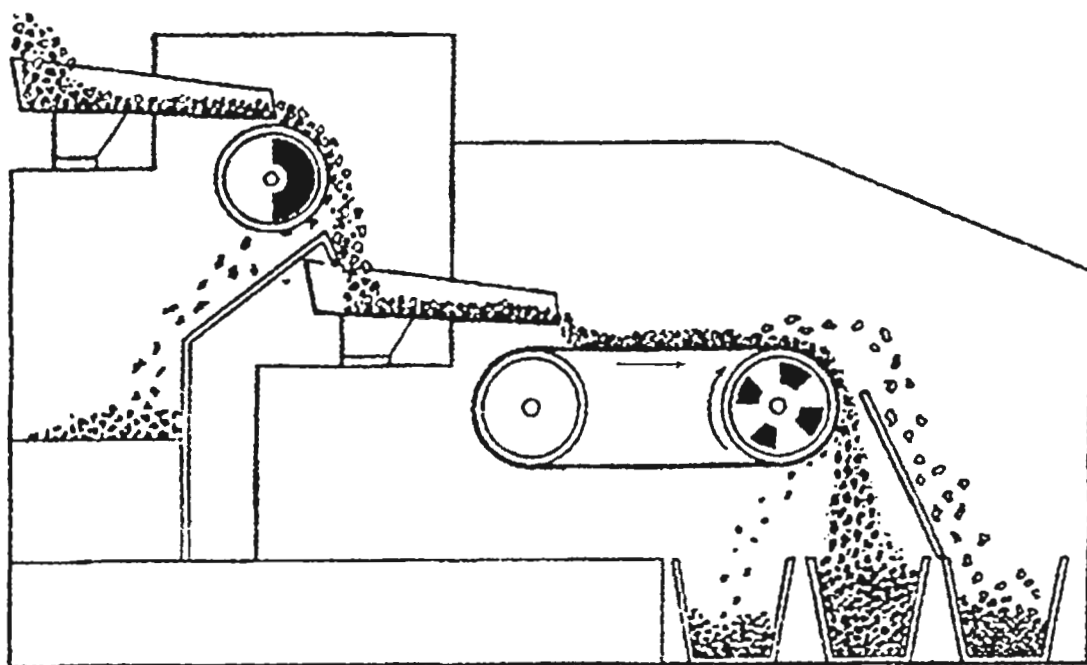


Рис. 3.9. Принципиальная схема сепаратора цветных металлов, предложенная английской фирмой MASTER MAGNETS LIMITED

### 3.4.3. Технология сепарации стекла

Сепарацию стекла производят с целью обогащения компоста (за счет уменьшения содержания в нем балластных фракций) и для уменьшения износа сменных элементов дробилки для компоста. На заводах МПБО применяют сепараторы (базли-стические и пневматические), отделяющие стекло и другие балластные фракции.



В баллистических сепараторах в качестве кода (сепарации) используют упругость разделяемых фракций. Сепарируемую массу разгоняют транспортером или специальным метателем до определенной скорости и направляют в сторону отражательной обрезиненной плиты, установленной под углом  $35...50^{\circ}$  к потоку. Менее упругие фракции отскакивают от плиты на меньшее расстояние. Твердые, упругие (стекло, камни, кости) фракции отскакивают дальше и собираются в специальный бункер. Расстояние отскока и эффективность сепарации зависят от влажности компостируемого материала и интенсивности его поступления. В зависимости от влажности восстановление стекла в баллистическом сепараторе составляет  $20...60\%$ , потеря компоста –  $1...3\%$ .

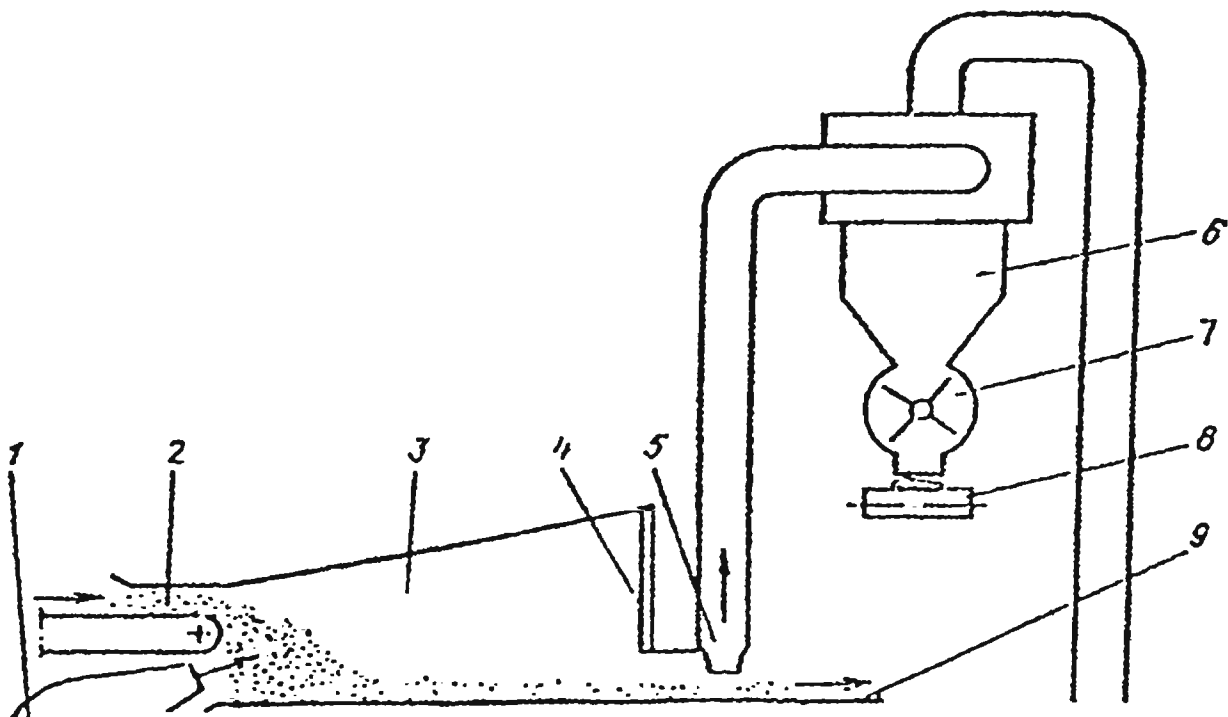
Для очистки компоста от стекла объединением МГО «Коммаш» г. Санкт-Петербург выпускается сепаратор КМ-205А, состоящий из метателя, отражательной плиты, приводов метателя и плиты, течек для компоста и балласта.

Компост после грохота направляется в течку и далее на метатель типа «беличье колесо». Частицы компоста и балласта отбрасываются на отражательную плиту, выполненную в виде плоского медленно вращающегося диска. Упругие фракции отражаются от диска на большее расстояние и попадают в течку для балласта, неупругая масса компоста падает в течку, расположенную ближе к отражательной плите.

Налипшие на плиту фракции постоянно очищаются с диска специальным неподвижным скребком.

#### *3.4.4. Технология сепарации пленки*

Технология сепарации пленки основана на различии парусности компоста и пленки. Сепаратор синтетической пленки КМ-204А (МГО «Коммаш» г. Санкт-Петербург) предназначен для очистки компоста от балластных пленочных материалов. Сепаратор (рис. 3.10) состоит из нагнетательного вентилятора, сепарирующей камеры, ленточного конвейера, расположенного внутри камеры, всасывающего вентилятора с диффузором, циклона и фильтра тонкой очистки. Нагнетательный вентилятор подает воздух в зону перегрузки компоста с одного конвейера на другой. Зона перегрузки находится внутри закрытой камеры. У выхода из камеры, над лентой конвейера расположен всасывающий диффузор, соединенный системой воздуховода с циклоном и всасывающим вентилятором.



**Рис. 3.10.** Принципиальная схема горизонтального пневматического сепаратора пленки КМ-204А:  
 1 – поддув воздуха; 2 – подача компоста; 3 – камера сепарации;  
 4 – тканевый фильтр; 5 – диффузор; 6 – циклон;  
 7 – шлюзовой затвор; 8 – пленка; 9 – очищенный от пленки компост;  
 10 – всасывающий вентилятор

При перегрузке компост продувается струей воздуха. Более легкие фракции (пленка) оседают медленнее и оказываются на ленте конвейера сверху над компостом. Эти фракции засасываются диффузором и по системе воздуховодов перемещаются в циклон, где оседают и через шлюзовой затвор выгружаются в тележку.

### 3.4.5. Комплексная сепарация утильных фракций

Несомненно интересное решение проблемы сортировки и переработки отходов предлагает объединение SYSTEC Gesellschaft für Systemtechnologie mbH из Кельна.

Представленная этим объединением, так называемая, «технология будущего» (рис. 3.11) включает значительный набор технологического оборудования для различных технологических операций, последовательно включающих сухую механическую обработку бытовых отходов, гидрообработку отделенного на первой стадии процесса крупного отсева и отсепарированной бумаги, а также специальную обработку (облагораживание) извлеченных утильных фракций.

Учитывая, что основная масса ТБО собирается жителями Германии в пластмассовые пакеты, все поступающие на завод ТБО первоначально проходят через валковую фрезерную установку для разрывания полимерных пакетов. Далее ТБО направляются в барабанный грохот для предварительного разделения на крупные и мелкие фракции.

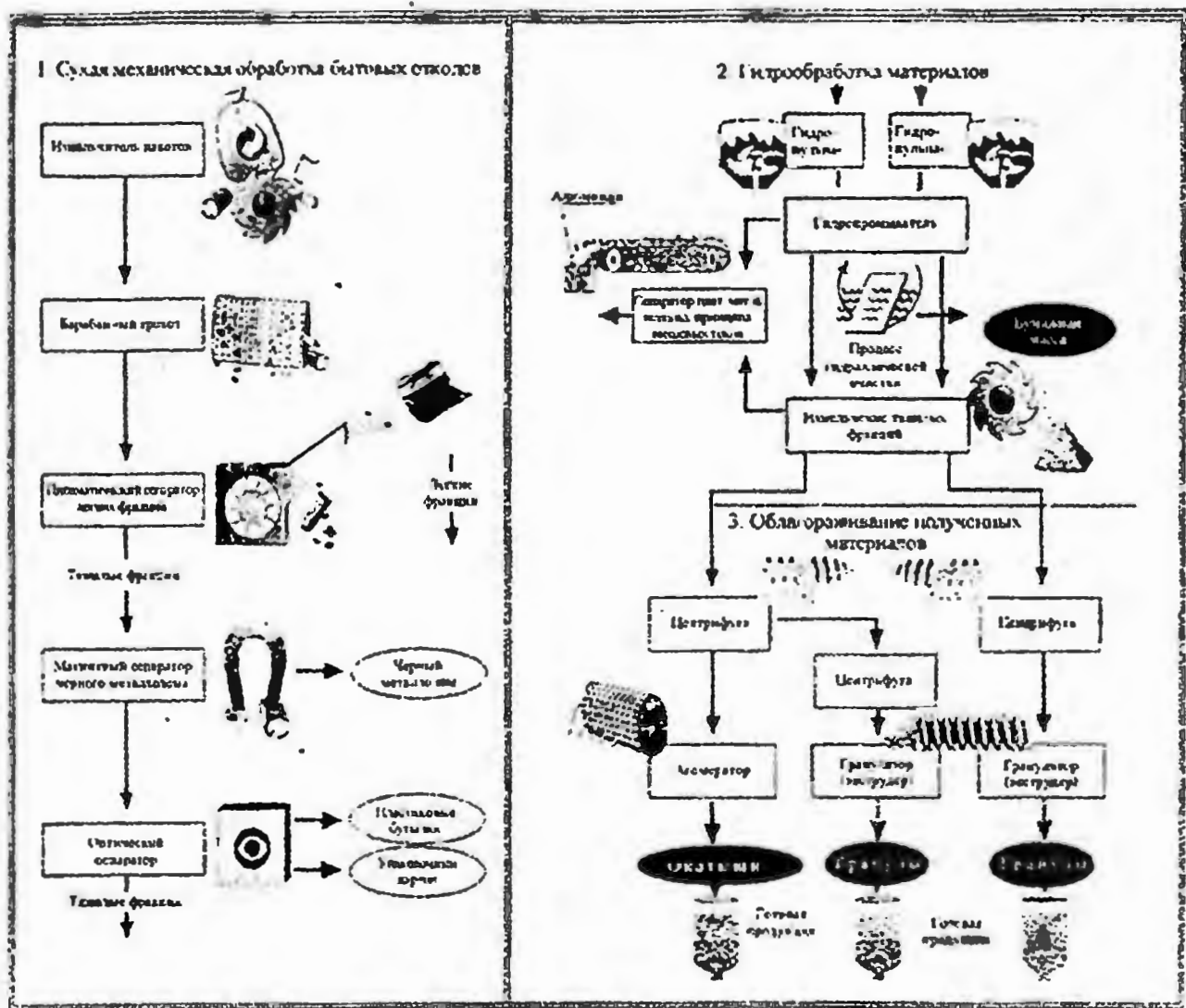


Рис. 3.11. Технологическая схема сортировки и переработки ТБО SYSTEC

Крупные фракции далее проходят шнемосепаратор, где по парусности (скорости вращения в потоке воздуха) отделяются легкие бумажные фракции. Магнитным сепаратором из тяжелых фракций извлекается лом черных металлов. Оставшийся материал проходит оптический сепаратор, где происходит отделение пластиковых бутылок и картонных упаковок (от пищевых продуктов).

Оставшийся крупный отсев и отделившиеся бумажные фракции направляются отдельно в два гидропульта, где превращаются в пульпу и подвергаются следующим видам обработки:

- повторное измельчение;
- сепарацию алюминия вихревыми токами в переменном поле на специальном сепараторе цветных металлов;
- превращение бумаги в бумажное волокно;
- обезвоживание полученных материалов в центрифугах;
- агломерация (получение окатышей) в барабанной установке;
- гранулирование в шнековой установке.

### *3.5. Энергетическая переработка отходов*

Мировая энергетика уже более тридцати лет назад приступила к созданию региональных энергосистем. Наиболее ярким примером здесь является система утилизационных тепловых станций вокруг Парижа. Топливом для них является ТБО. Их расположение соответствует не только потребностям города на 80%, но и рентабельному плечу вывоза ТБО и длине теплотрасс.

Москва стоит на пути создания комплексных, региональных энергопредприятий, работающих на вторичном топливе – ТБО. Первое такое энергопредприятие – МСЗ № 2 – вырабатывает не только 30 Гкал/час тепла, передаваемых в систему отопления города, но 4,5 МВт электроэнергии, из которых большая часть отправляется внешним потребителям. Строящийся МСЗ № 4 будет отдавать в город до 60 Гкал/час тепла и до 9 МВт электроэнергии. МСЗ № 3 после реконструкции, соответственно 35 Гкал/час и 5 МВт. Таким образом создается единая система независимых региональных энергопредприятий.

В этих условиях становится актуальным вопрос о себестоимости получаемой электроэнергии. В коммунальной энергетике для обеспечения конкурентоспособности на рынке электроэнергии, актуальным является создание высокоэффективных способов получения электроэнергии.

Существующие в настоящее время схемы мусоросжигательных заводов используют для получения как электрической, так и

тепловой энергии: паровой и паро-водяной цикл. В этом случае отходящие топочные газы являются лишь транспортной средой для переноса энергии от пламени топки к энергоносителю – воде. Как правило, МСЗ – это либо отопительные утилизационные котельные, либо утилизационные ТЭЦ, либо электростанции. Общий тепловой КПД таких предприятий не превосходит 23–25%. Опыт их эксплуатации в течение уже 50 лет показал, что они не уступают ТЭЦ, работающим на природном ископаемом топливе.

На протяжении последних 30 лет в мире активно развиваются технологии получения электроэнергии, использующие газовые или парогазовые циклы. В этих технологиях основным энергоносителем – продукты сгорания, а вода или пар используются для утилизации низкоэнthalпийной (хвостовой) части энергии газового потока. На этом принципе работают газовые турбины широкого применения: от авиации до энергетики и транспорта. Их тепловой КПД достигает 47–53%. А паровые турбины в хвостовой части схемы позволяют получить еще до 20% по КПД. Это существенный вклад в эффективность получения электроэнергии.

Технически схемы реализуются с использованием современных серийных газотурбинных установок (ГТУ) в следующих вариантах:

- мусоросжигательные печи высокого давления (0,4–0,6 МПа) с подачей отходящих газов в ГТУ в качестве рабочего тела;
- традиционные мусоросжигательные печи с компримированием отходящих газов перед ГТУ;
- пиролизные печи (газификаторы) низкого давления с компримированием и реализацией экзотермического потенциала отходящих газов в ГТУ;
- пиролизные печи с созданием комбинированного рабочего тела (отходящие пиролизные газы + воздух высокого давления (0,4 - 0,6 МПа)).

При таком способе самая высокоэнthalпийная часть тепловой энергии отходящих газов превращается в электроэнергию с минимальными потерями без промежуточного теплоносителя.

Отходящие газы охлаждаются до температуры работы газоочистных сооружений, т.е. до 600–550<sup>0</sup>С. В этом случае ориентировочный расчет показывает, что общий КПД ГТУ составит 35–38%. Современные ГТУ обеспечивают расход газовойоздушной сме-

си от 100000 до 1000000 м<sup>3</sup>/час, что соответствует газовым выбросам МСЗ. Низкоэнтальпийное тепло газового потока за турбиной может быть сработано в паровой турбине с общим КПД до 20%. Газоочистное оборудование не меняется. Экологическая безопасность МСЗ остается на прежнем уровне. Таким образом, целесообразна разработка мусоросжигательных энергоагрегатов, работающих по парогазовому циклу.

### *3.6. Переработка изношенных шин*

Загрязнение окружающей среды отходами, содержащими полимерные материалы, происходит вследствие постоянного увеличения ассортимента и качества изделий из них. Самым крупнотоннажным отходом потребления являются изношенные шины. Объем переработки изношенных шин в настоящее время весьма невелик. Проблема переработки отработанных шин имеет важное экологическое значение, поскольку из-за стойкости резины к действию природных факторов засорение шинами окружающей среды носит весьма длительный и устойчивый характер, а их переработка приносит достаточную экономическую выгоду.

В настоящее время изношенные шины используют в виде:

- топлива;
- крошек и порошков, используемых в качестве наполнителей;
- различных изделий в гражданском строительстве.

Использование шин в качестве топлива экономически очень выгодно, так как теплотворная способность шин выше чем каменного угля приблизительно в 1,2 раза, но при сжигании шин происходит выделение токсичных продуктов (оксиды серы и др.), а значит, решение экологической проблемы утилизации шин данным методом не является корректным.

Известны следующие методы получения крошек и порошков из использованных шин:

- криогенный метод;
- метод шероховки – получение порошков из протекторных резин;

- метод прессования;
- метод механического деформирования шины в газовой среде;
- электродеструкционный метод;
- метод измельчения шины с помощью взрыва;
- методы механического воздействия (экструзионный метод, валиковое дробление и т.п.);
- метод импульсной деструкции шин (светогидравлический удар).

Крошки и порошки делятся на семь типов, шесть из которых определяются по происхождению и седьмой тип по размеру крошек и порошков.

Для возврата продуктов измельчения изношенных шин в основное производство используются следующие методы:

- девулканизация;
- модификация поверхности частиц крошек;
- упруго-деформационное измельчение в экструзионных машинах.

**Девулканизация** – способ получения каучуков из отходов резин путем разрушения связей между углеродом макромолекул и серой. На этом принципе основаны технологии получения реагентов, но свойства регенератов из-за частичной деструкции каучуков очень низкие и их производство постоянно сокращается. Существуют новейшие технологии избирательной деструкции – C-S- и –S-S- связей, основанных на использовании ультразвука и катализаторов, но они ещё не нашли широкого применения.

Модификация поверхности резиновой крошки – придание поверхности частиц большей химической активности в процессе измельчения резины.

Самым передовым методом возврата продуктов измельчения можно признать **метод упруго-деформационного измельчения**. Применяя этот метод можно, варьируя температурные условия процесса, добиться минимизации механохимических процессов, сопутствующих твердофазному измельчению. Широкие эксперименты по экструзионному измельчению отходов показали, что при поддержании температуры резины в процессе обработки 80–120 °С, добавки в свежие смеси фракции порошков со средним размером 100 мкм и ниже, дали хорошие результаты при стендовых испытаниях шин, содержащих 25% вторичных порошков.

### 3.7. Переработка отработанных масел

Ежегодно в Москве образуется 70–80 тыс. т отработанных моторных и промышленных масел, а собирается и перерабатывается специализированными предприятиями не более 12%. Отсутствие необходимых мощностей по экологически безопасной утилизации отработанного масла привело к ситуации, когда органы Москомприроды вынуждены допускать применение отработанных масел в качестве топлива без предварительной подготовки или в качестве антиадгезивных средств на заводах железобетонных изделий (ЖБИ).

Наиболее экологически чистыми технологическими процессами переработки отработанных масел являются:

- утилизация с целью получения топлива (бензина, печного и котельного);
- регенерация или восстановление физико-химических свойств отработанных масел с получением базовых масел и топлив;
- очистка отработанных масел с помощью коагулянтов.

Приведенная ниже схема (рис. 3.12) представляет один из вариантов экологически безопасной технологии восстановления отработанных масел с целью получения из них базовых масел. По этой схеме можно получать компоненты печного и котельного топлива, а также сырьё для эмульсолов, исключив при этом процесс гидроочистки.

Сбор отработанных масел является важнейшей составляющей процесса переработки вторичного сырья, обеспечивающего решение экологических задач. в частности, предотвращение загрязнения биосферы вредными продуктами.



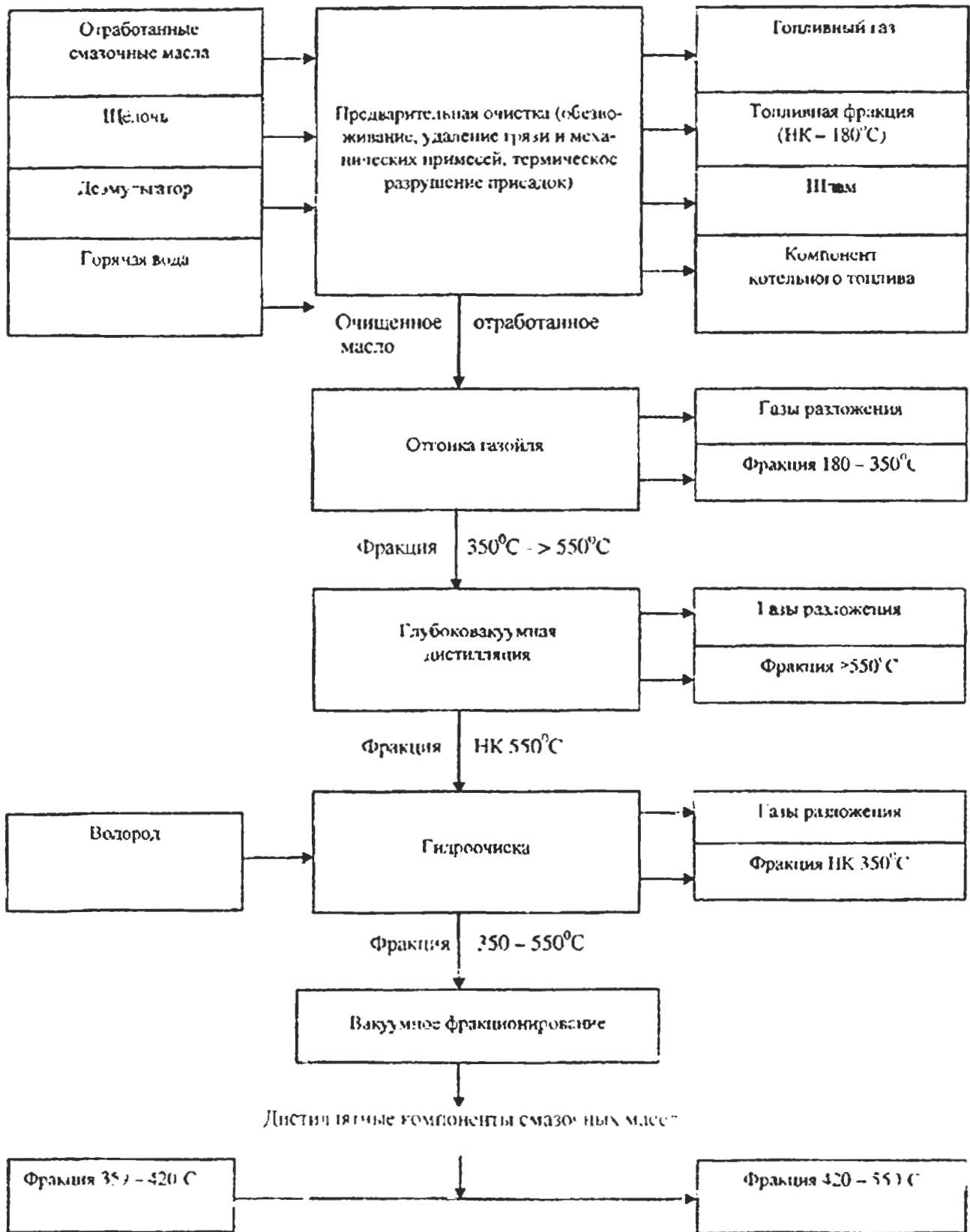


Рис. 3.12. Схема регенерации (восстановления) отработанных масел

Комплексная система сбора отработанных масел включает:

- специализированный автотранспорт и пункт временного хранения отработанных масел;
- информационную службу, обеспечивающую сбор масел и заключение договоров со сдатчиками сырья;
- входной физико-химический контроль отработанных нефтепродуктов.

## 4. САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ

Согласно СНиП 245-71 и дополнений к ним (2000 г.) вокруг каждого промышленного загрязняющего предприятия устанавливается санитарно-защитная зона, размеры которой зависят от класса предприятий.

Сооружения санитарно-технических объектов коммунального назначения:

**Класс I – санитарно-защитная зона – 1000 м:**

- контролируемые неусовершенствованные свалки для нечистот и жидких хозяйственных отходов органического происхождения и твердых гниющих отходов;
- скотомогильники с захоронением в ямах;
- утильзаводы для ликвидации трупов животных и конфискатов;
- усовершенствованные свалки для неутилизованных твердых промышленных отходов;
- крематории, при количестве печей более одной;
- мусоросжигательные и мусороперерабатывающие заводы, мощностью свыше 40 тыс. т/год.

**Класс II – санитарно-защитная зона – 500 м:**

- мусоросжигательные и мусороперерабатывающие заводы, мощностью до 40 тыс. т/год;
- участки компостирования твердых отходов и нечистот населенного пункта (центральные, для нужд города);
- скотомогильники с биологическими камерами;  
кладбища смешанного и традиционного захоронения, площадью от 40 до 20 га;
- крематории без подготовительных и обрядовых процессов с одной однокамерной печью.

**Класс III – санитарно-защитная зона – 300 м:**

- центральные базы по сбору утильсырья;
- кладбища смешанного и традиционного захоронения, площадью менее 20 га;
- участки для парников и теплиц без навоза и фекалий.

**Класс IV – санитарно-защитная зона – 100 м:**

- базы районного назначения для сбора утильсырья;
- склады временного хранения утильсырья без переработки;
- механизированные транспортные парки по очистке города;
- ветлечебницы с содержанием животных;
- закрытые кладбища и кладбища с погребением после кремации;
- мусороперегрузочные станции.

**Класс V – санитарно-защитная зона – 50 м:**

- закрытые кладбища и мемориальные комплексы, колумбарии, сельские кладбища;
- ветлечебницы без содержания животных.

## ***4.1. Применение дистанционных аэрокосмических методов при оценке санитарно-защитных зон***

В числе задач урбанизированных территорий большой научный и прикладной интерес представляет технология дистанционного мониторинга санитарно-защитных зон.

Преимущества использования дистанционных методов мониторинга заключаются в возможности достаточно оперативно при наименьших финансовых затратах получить детальную информацию об исследуемой местности.

Опыт применения аэрокосмических методов для решения конкретных задач свидетельствует о возможности их использования для геоинформационного обеспечения управления качеством городской среды.

Технология создания санитарно-защитных зон на основе аэрокосмической информации предназначена для информационного обеспечения экологического мониторинга, прогноза состояния санитарно-защитных зон с целью принятия обоснованных решений по упреждению критических ситуаций.

Использование различных видов дистанционных съемок позволяет уточнить границы санитарно-защитных зон с учетом природно-хозяйственных условий территории, отслеживать негативные экологические процессы и их динамику в пределах этих зон.

В комплекс дистанционных методов входят фотографическая, инфракрасная, радиолокационная, многоспектральная съемки и аэровизуальные наблюдения. Фотографические методы занимают ведущее место при картировании разных масштабов. Наиболее широко используются панхроматические (черно-белые) снимки. Фотографирование из воздушного и космического пространства обеспечивает получение снимков разного масштаба и различной степени обзорности.

Одним из перспективных видов съемок является тепловая ИК-съемка (инфракрасная). Ее следует рассматривать как существенное принципиальное дополнение к фотографическим методам. С помощью тепловой ИК-съемки можно картировать изменения влажности почв в пределах санитарно-защитной зоны, устанавливать участки близкого залегания грунтовых вод, определять утечки воды из водопроводов и др.

Применение радиолокационной съемки при изучении ТБО пока ограничено. Доказана принципиальная возможность использования радиолокационной съемки для выявления различий литологического состава поверхностных отложений, детализации микрорельефа, установления участков неглубокого залегания грунтовых вод.

Особенно перспективно применение многозональных аэрокосмоснимков (АКС). Один из вариантов аэрокосмического мониторинга площадей захоронения отходов заключается в применении космических снимков с разрешением 0,6 мм, дающих информацию в разных зонах спектра. С учетом скорости их получения — приоритет за ними. Возможно использование разных спектральных интервалов для изучения состава ТБО.

Использование дистанционных методов обязательно предусматривает постоянное комплексирование с режимными наземными наблюдениями. Этим достигается повышение информативности и качества изучения состояния санитарно-защитных зон.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

Интегральная экономическая оценка варианта переработки отходов должна учитывать расходы и ущерб от получения и использования аналогичного природного сырья, расходы и ущерб от складирования или захоронения остатков переработки. При оценке должны учитываться и косвенные элементы изменения расходов.

Интегральные экономические характеристики способа переработки отходов включают: коэффициенты изменения их физическо-го и химического состава; производительность; экономичность; отчуждение территории; возвратность ресурсов; эффективность.

Факторы, характеризующие способы переработки отходов, представлены на рис. 5.1.

Используемые ресурсы  
(электроэнергия, рабочая жидкость,  
трудовые ресурсы, кислород, газы,  
вспомогательные материалы)



Рис. 5.1. Факторы, характеризующие способ переработки отходов

Коэффициент изменения физического состояния ( $KИО^{(\phi)}$ ) определяется соотношением

$$KИО_i^{(\phi)} = d_i^{(0)} / d_i^{(1)}, \quad (5.1)$$

где  $d_i^{(0)}$  и  $d_i^{(1)}$  – показатели физического состояния (объем, масса, насыпная плотность и т.п.) отходов на входе в процесс переработки и на выходе соответственно.

Коэффициент изменения химического состава рассчитывается по формуле

$$KИО_i^{(x)} = (m_i^{(0)} - m_i^{(1)}) / m_i^{(0)}, \quad (5.2)$$

где  $m_i^{(0)}$  и  $m_i^{(1)}$  – показатели химического состояния (концентрация веществ, содержание элементов и т.п.) отходов на входе в процессе переработки и на выходе соответственно.

Производительность способа переработки отходов – это количество отходов, подвергающихся обработке в единицу времени.

Экономичность процесса переработки отходов выражается отношением полученных результатов в виде объема перерабатываемых отходов в натуральном и стоимостном выражении к величине издержек на 1 т перерабатываемых отходов:

$$\mathcal{E} = \sum_i V_i / (\sum_k C_k \cdot d_k) \quad (5.3)$$

где  $V_i$  – годовой объем перерабатываемых отходов  $i$ -го вида,  $C_k$  и  $d_k$  – цена и расход ресурсов  $k$ -го вида на переработку отходов.

Если переработка отходов влияет на качество выпускаемой продукции, производительность оборудования или используемые ресурсы для основного производства, то к издержкам производства добавляются дополнительные издержки в основном производстве. Они определяются как произведение цены дополнительных ресурсов на их количество.

Отчуждаемая территория характеризуется тремя параметрами: площадью, сроком изъятия из пользования, затратами на ее восстановление в будущем. Отчуждаемая территория разделяется на 2



вида: для размещения оборудования, используемого в процессах переработки отходов, для длительного хранения отходов (захоронения). Поэтому коэффициент отчуждения территории (КОТ) определяется следующим образом:

– для размещения оборудования:

$$КОТ^{(0)} = S / q, \quad (5.4)$$

где  $S$  – площадь отчуждаемой территории,  $m^2$ ;  $q$  – годовая производительность оборудования по переработке отходов, т;

– для хранения отходов:

$$КОТ^{(X)} = S T V_0,$$

где  $T$  – период времени, в течение которого осуществляется отчуждение территории, годы;  $V_0$  – объем отходов, подлежащих захоронению, т.

Возвратность перерабатываемых ресурсов определяется возможностью их вовлечения в переработку, что характеризуется коэффициентами полезного использования и коэффициентами технологической ценности.

Коэффициент полезного использования отходов определяется как отношение отходов, возвратившихся в производство, к общему количеству отходов после их переработки

$$КИИ = (V_i^{(0)} - V_i^{(1)}) / V_i^{(0)} \quad (5.5)$$

где  $V_i^{(0)}$  и  $V_i^{(1)}$  – количество отходов после переработки и количество отходов, подвергшихся захоронению или безвозвратно потерянных, т.

Факторы, характеризующие способы переработки отходов, представлены на рис. 5.1.

Утилизация реализуется в виде различных операций в зависимости от видов перерабатываемых отходов.

Коэффициент технологической ценности отходов рассчитывается как отношение затрат на выпуск продукции из отходов к затратам на выпуск продукции из первичного сырья:

$$КТЦ = \sum_k C_{k_i} \cdot d_{k_i} / \sum_r C_{r_i} \cdot d_{r_i} \quad (5.6)$$

где  $U_{ki}$  и  $d_{ki}$  – цена и расход ресурсов  $k$ -го вида на производство единицы продукции из отходов  $i$ -го вида; и  $U_{ri}$  – цена и расход ресурсов  $d_r$ -го вида на производство единицы этой же продукции из первичного сырья.

Эффективность способа переработки отходов определяется по соотношению

$$E = \sum_i F_i(d_i^{(1)}, d_i^{(0)}, m_i^{(0)}, m_i^{(1)}) - \Phi(t) - \Delta P(t) \cdot d_i / K, \quad (5.7)$$

где  $F_i(d_i^{(1)}, d_i^{(0)}, m_i^{(0)}, m_i^{(1)})$  – выручка от реализации доходов,  $\Phi(t)$  – затраты, связанные с переработкой отходов,  $\Delta P(t)$  – потери прибыли в основном производстве,  $K$  – капитальные затраты на переработку отходов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе сделана попытка систематизации проблемы оценки ТБО, как одной из городских инженерных систем, что необходимо при обеспечении высокого качества городской среды.

По данным Департамента жилищно-коммунального хозяйства Москвы, в 2002 г. в городе было образовано 2,62 млн т бытовых отходов жилого сектора, 770 тыс. т крупногабаритного бытового мусора, 1,1 млн т отходов, приравненных к бытовым, образованных коммунальными предприятиями, итого 4,49 млн т бытовых отходов.

Коммунальные системы охватывают все сферы жизнедеятельности городов. В частности, это системы водоснабжения, канализации, управления отходами, электроснабжения, газоснабжения, сбора и очистки поверхностного стока.

Коммунальные системы имеют много общего и взаимосвязаны. Все они в основном привязаны к географии, рельефу и геологии городской территории. Они характеризуются примерно одинаковыми временными характеристиками. Изменение одной инженерной системы, как правило, влечет за собой модернизацию других инженерных систем.

Адекватное управляющее решение может быть принято только при условии получения объективной информации о проблеме.

Это означает, что должна существовать система сбора текущей информации и ее отображение с применением современных методов мониторинга и информационных технологий.

Инженерные системы формируют качество городской среды. Система управления отходами, являясь одной из инженерных систем города, представляет сложную проблему для оценки воздействия этой системы на качество городской среды. Так, увеличение объема образования ТБО, с одной стороны, свидетельствует о росте потребления и благосостояния, а с другой стороны, существует необходимость уменьшения, т.к. увеличивается нагрузка на природную среду в городе и пригородах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – М.: ВИНТИ, 1998. – № 3, № 5.
2. Матросов А.С. Управление отходами. – Новосибирск: Наука, 1999.
3. Энергетическая переработка отходов / А.М. Гонопольский, В.Г. Систер, В.Ф. Москвичев и др. // Техника и технология экологически чистых производств. VI международный симпозиум молодых ученых, аспирантов и студентов. – М.: МГУИ, 2002.
4. Экологические проблемы утилизации изношенных шин. / А.В. Жиляков, В.С-Х Ким, В.А. Самойлов. // Техника и технология экологически чистых производств. VI международный симпозиум молодых ученых, аспирантов и студентов. – М.: МГУИ, 2002.
5. Мирный А.Н. Технологии комплексного извлечения утильных фракций из твердых бытовых отходов. // Чистый город. – 2002. – № 3 (19). – С. 9–14.
6. Крапильская Н.М., Садов А.В. Использование дистанционных методов для изучения режима грунтовых вод. // Водные ресурсы. – №3. – С. 146–156.
7. Крапильская Н.М. Аэрокосмический мониторинг свалок московского региона. – М.: МИКХиС, 2005.
8. Марзеев А.Н., Сысин А.Н., Яковенко В.А. Основы коммунальной гигиены. – М. – Л.: Биомедгиз, 1936 г.
9. Глухов В.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. Экономические основы экологии. – СПб.: «Специальная литература», 1995.
10. Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов. Полигоны отходов / Е.К. Широкова, С.В. Рыков, В.А. Кузнецов. – М.: МИКХиС, 1999.
11. Мягков М.И. Высокотемпературная обработка сточных вод. – Л.: Стройиздат. 1983.
12. Систер В.Г., Мирный А.Н., Гюнтер Л.И. Экологические проблемы мегаполисов. – М.: АКХ, 2004.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Комплексное управление отходами .....	4
1.1. Принципы комплексного управления отходами .....	4
1.2. Оценка потоков ТБО и постановка задач .....	5
2. Социально-экономические аспекты вторичной переработки .....	8
2.1 Минимизация количества отходов .....	8
3. Методы переработки отходов. Методы обезвреживания ТБО .....	11
3.1 Захоронения .....	11
3.2. Компостирование .....	13
3.2.1. Вермикомпостирование .....	15
3.3. Мусоросжигание .....	16
3.3.1. Ленинградский завод механизированной переработки ТБО .....	19
3.3.2. Московские заводы переработки ТБО .....	23
3.4. Методы сепарации отдельных компонентов ТБО .....	28
3.4.1. Технология извлечения черного металлолома .....	28
3.4.2. Технология извлечения цветного металлолома .....	29
3.4.3. Технология сепарации стекла .....	31
3.4.4. Технология сепарации пленки .....	32
3.4.5. Комплексная сепарация утильных фракций .....	33
3.5. Энергетическая переработка отходов .....	35
3.6. Переработка изношенных шин .....	36
3.7. Переработка отработанных масел .....	39
4. Санитарно-защитные зоны .....	42
4.1. Применение дистанционных аэрокосмических методов при образовании санитарно-защитных зон .....	43
5. Экономическая оценка переработки отходов .....	45
Заключение .....	49
Литература .....	51

**ВЛАДИМИР АФАНАСЬЕВИЧ КУЗНЕЦОВ,  
НАТАЛЬЯ МИХАЙЛОВНА КРАШЕНЬСКАЯ,  
ЛЮДМИЛА ФЕДОРОВНА ЮДИНА**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ.  
СБОР. ЛИКВИДАЦИЯ. УТИЛИЗАЦИЯ**

*Учебное пособие*

Редактор *О.С. Котлягина*  
Корректор *Р.Н. Шульгина*  
Верстка *Е.Н. Марченко, С.А. Лыковой*

Лицензия  
серия ИР № 020318 от 23 декабря 1996 г.

Подписано в печать 10.08.2005  
Формат 60x84 1/16. Объем 3,5 п. л.  
Riso печать. Тираж 200 экз.  
Изд. № 5 / Заказ №

Издательско-полиграфический центр МИКХиС  
109029 Москва, Ср. Калитниковская ул., д. 30  
E-mail: ipcmikhis@rambler.ru

Тел.: 911-58-03, факс: 670-71-80