



УЧЕБНИК



В. И. СМЕТАНИН

**ЗАЩИТА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
ОТ ОТХОДОВ  
ПРОИЗВОДСТВА  
И ПОТРЕБЛЕНИЯ**



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



В. И. СМЕТАНИН

**ЗАЩИТА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
ОТ ОТХОДОВ  
ПРОИЗВОДСТВА  
И ПОТРЕБЛЕНИЯ**

Допущено Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по направлениям подготовки дипломированных специалистов: 656400 «Природообустройство» и 656600 «Защита окружающей среды»



МОСКВА «КОЛОС» 2000

УДК 502.55 (075.8)

ББК 20.18я73

С 50

Редактор *Н. М. Щербакова*

Рецензенты: д-р техн. наук *Д. А. Манукьян* (ВНИИГиМ) и *Н. Ф. Абрамов*  
(Академия коммунального хозяйства)

### **Сметанин В. И.**

С50 Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. — М.: Колос, 2000. — 232 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

ISBN 5—10—003504—8.

Рассмотрены образование, способы переработки и захоронение отходов сельского хозяйства, производства, а также бытовых (муниципальных).

Для студентов вузов по направлениям подготовки дипломированных специалистов: 656 400 «Природообустройство» и 656 600 «Защита окружающей среды».

УДК 502.55 (075.8)

ББК 20.18я73

ISBN 5—10—003504—8

©Издательство «Колос», 2000

## ПРЕДИСЛОВИЕ



Урбанизация городов, приведшая к образованию крупнейших мегаполисов, и постоянно возрастающая хозяйственная деятельность человека создают одну из острейших проблем XX столетия — проблему защиты природной среды от негативного воздействия отходов производства и потребления. Практически во все времена своего существования человек стремился как можно быстрее и дешевле избавиться от отходов, ссылая их в ближайшие овраги или в понижения рельефа, не задумываясь при этом о последствиях.

Большинство городов мира практически построены на свалках. Дальнейший рост городов, развитие промышленности и сельского хозяйства нередко приводят к нарушению экологической обстановки, особенно, например, в крупных городах, где хозяйственная деятельность наиболее сконцентрирована на ограниченной территории и сосредоточена значительная часть населения. Как показывает практика, в таких городах происходит наиболее интенсивное накопление отходов, а неправильное и несвоевременное удаление их и обезвреживание нередко приводят к экологическому кризису. Повсеместно возникающие вокруг городов плохо организованные, а порой и просто «стихийные» свалки являются наиболее серьезными источниками загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхностных и грунтовых вод.

С целью охраны водных ресурсов, атмосферного воздуха, почв, а также утилизации содержащихся в отходах ценных компонентов разрабатывают и внедряют различные промышленные технологии обезвреживания и переработки отходов, включая методы термического и биотермического обезвреживания и другие технологические приемы их переработки.

---

Учитывая все возрастающие требования к защите окружающей среды как во всем мире, так и в нашей стране, необходим поиск новых рациональных путей снижения экологического ущерба, наносимого природной среде повседневной жизнедеятельностью человека.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТХОДАХ, ИХ ВИДАХ, ОБРАЗОВАНИИ И ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ



Все то, что производится, добывается и потребляется, рано или поздно превращается в отходы. Все образующиеся отходы делят на отходы производства и потребления, которые могут находиться в газообразном, жидком, пастообразном или твердом состоянии, представляя собой различную степень опасности и токсичности для окружающей природной среды и человека.

Отходы в зависимости от токсичности химических веществ, содержащихся в них, проявляют различную степень воздействия на окружающую среду и могут быть чрезвычайно опасными (относящиеся к I классу токсичности), высоко опасными (II класс), умеренно опасными (III класс) и малоопасными (IV класс).

При размещении отходов негативное воздействие их на природную среду достаточно часто сопровождается нарушением ландшафта с изменением отдельных элементов геологической среды, загрязнением воздушного бассейна, вод суши, моря, подземных вод, истощением их ресурсов и деградацией водных экосистем, а также загрязнением и деградацией почв, приводящих к истощению ресурсов растительного и животного мира. Уровень негативного воздействия отходов на природную среду оценивается степенью их токсичности, приводящей к различным степеням экологического неблагополучия в местах образования и размещения отходов. Экологическая обстановка в местах образования и размещения отходов может быть классифицирована следующим образом: относительно удовлетворительная, напряженная, критическая, кризисная и катастрофическая. В зависимости от степени экологического неблагополучия в местах образования и размещения отходов наблюдаются изменения природной среды и деградация естественных экосистем, нередко приводящие к изменению среды обитания и состояния здоровья человека. Классификация отходов с учетом возможного негативного их влияния на природную среду и на человека приведена на рисунке 1.1.

В Законе РФ «Об охране окружающей среды» (статья 58) записано, что участки территории Российской Федерации, где в результате хозяйственной или иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетическим фондам растений и животных, объявляются зонами чрезвычайной экологической ситуации. Участки территории, где в результате хозяйственной либо иной деятельности произошли глу-

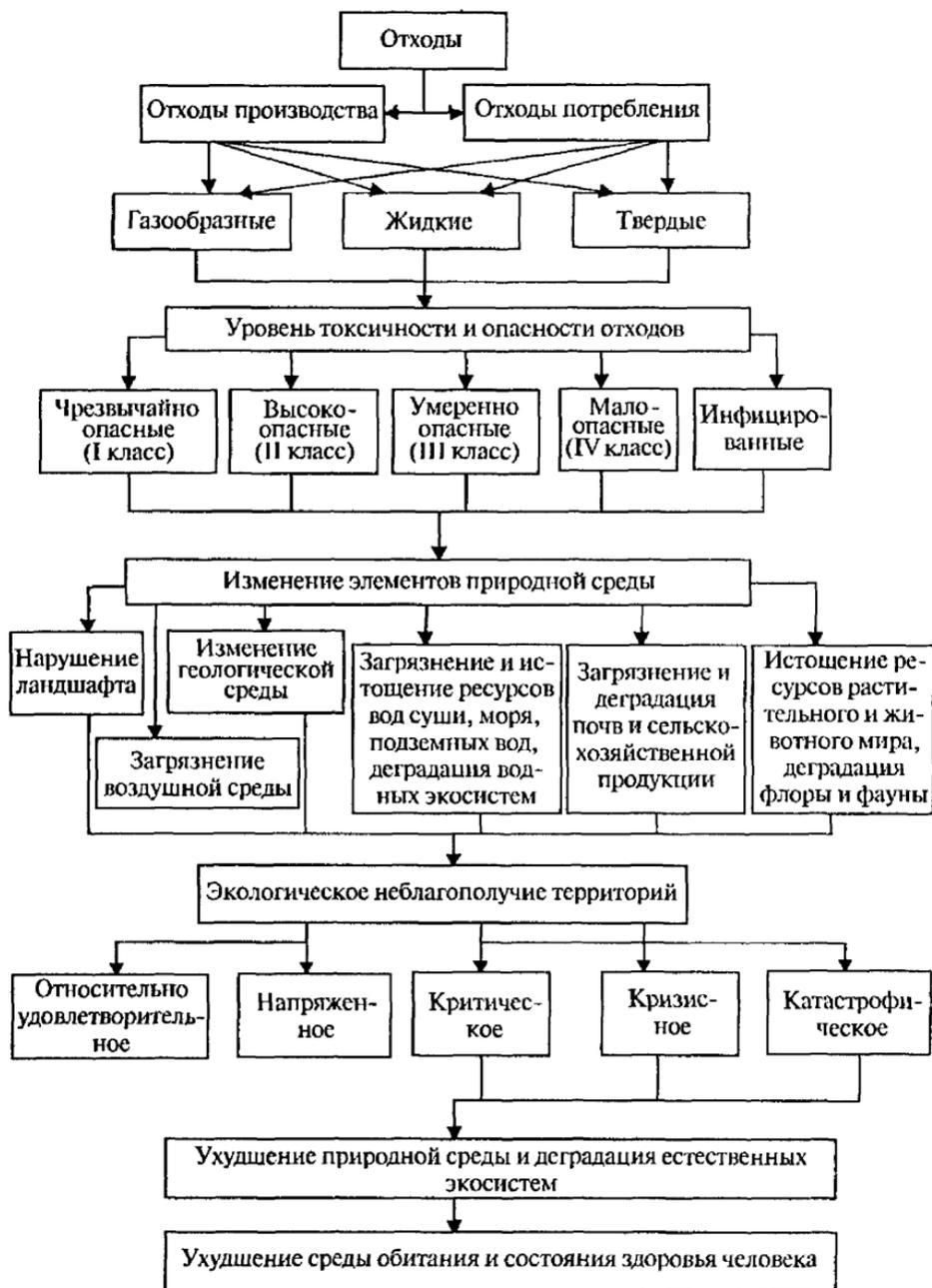


Рис. 1.1. Классификация отходов по их агрегатному состоянию и опасности воздействия на природную среду

бокие необратимые изменения в окружающей среде, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природоохранного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны, объявляются зонами экологического бедствия (статья 59).

Для оценки состояния территории по выявлению зон экологического бедствия или чрезвычайных экологических ситуаций в 1992 г. утверждены критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия.

Согласно статьям 58 и 59 Закона РФ «Об охране окружающей природной среды» оценка степени экологического неблагополучия территорий (акваторий) проводится по признакам, приведенным в таблице 1.1.

### 1.1. Признаки территорий крайних степеней экологического неблагополучия

Показатель	Экологическое бедствие (статья 59)	Экологический кризис (статья 58)
Окружающая природная среда	Глубокие необратимые изменения	Устойчивые отрицательные изменения
Здоровье населения	Существенное ухудшение здоровья	Угроза здоровью населения
Естественные экосистемы	Разрушение естественных экосистем	Устойчивое отрицательное изменение состояния естественных экосистем

Под глубокими необратимыми изменениями окружающей природной среды понимают ее изменение, связанное с загрязнением, приводящим к существенному ухудшению здоровья населения.

Под существенным ухудшением здоровья населения понимают увеличение случаев необратимого ухудшения здоровья с изменением причин смерти (онкологические заболевания, врожденные пороки развития, гибель плода) и появлением специфических заболеваний, а также существенным увеличением частоты проявления обратимых случаев ухудшения здоровья (неспецифические заболевания, отклонения в физическом и нервно-психическом развитии, нарушения или осложнения течения и исходов беременности и родов и т. п.), связанных с загрязнением окружающей среды.

Под разрушением естественных экосистем понимают нарушение природного равновесия, деградацию флоры и фауны, потерю генофонда, связанные с загрязнением окружающей среды, а под устойчивым отрицательным изменением окружающей природной среды — изменения, связанные с загрязнением природной среды, создающие угрозу здоровью населения.

Угрозой здоровью населения считают увеличение частоты случаев обратимых нарушений здоровья (неспецифические заболевания, отклонения в физическом и нервно-психическом развитии, нару-

т. п.), вызываемых загрязнением окружающей среды.

Под устойчивым отрицательным изменением естественных экосистем понимают ее состояние, при котором наблюдается уменьшение видового разнообразия отдельных видов растений и животных, нарушение генофонда, обусловленных загрязнением окружающей среды.

Показатели, приведенные в таблице 1.1, характеризуют экологическое неблагополучие территории как свершившееся бедствие по статье 59 либо как надвигающуюся угрозу по статье 58, на которые антропогенные факторы воздействуют длительно, не менее 1 года. Их экологическое состояние оценивают сравнением с фоновым загрязнением, за которое принимают относительно удовлетворительное, благополучное экологическое состояние в регионе.

Степень ухудшения здоровья человека характеризуется медико-демографическими показателями в зависимости от степени изменения среды обитания, определяемой по критериям загрязнения атмосферного воздуха, воды, почвы, и воздействия на него ионизирующего излучения.

Состояние природной среды оценивают по загрязнению воздушной среды, воды, почв, изменению геологической среды, истощению природных ресурсов и деградации экосистем.

## 1.1. ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА

Промышленные отходы или отходы производства — это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства, а также образующиеся в процессе производства попутные вещества, не находящие применения. Например, отходы в машиностроении — это прежде всего металлолом, стружка, абразивы и опилки, масляные шламы от штампования деталей и их сборки, лом пластмасс, резина и разного рода бракованные изделия. Основные источники образования и виды промышленных отходов приведены в таблице 1.2.

По данным американских исследований, промышленный рабо-

### 1.2. Основные источники образования и виды промышленных отходов различных производств

Основное производство	Основные процессы образования отходов	Виды промышленных отходов
Водоснабжение, водоотведение и тепло-снабжение	Изготовление и установка элементов систем водоснабжения, водоотведения и отопления в домах, учреждениях и на предприятиях	Обрезки труб, резина, бумага, изоляционные и конструкционные материалы, строительный мусор

Основное производство	Основные процессы образования отходов	Виды промышленных отходов
Предприятия по производству продуктов питания	Переработка, упаковка и перевозка	Отходы мяса, жира, масла, кости, овощей, фруктов и др.
Лесопильные и деревообрабатывающие заводы, мебельные комбинаты и фабрики	Изготовление и обработка пиломатериалов, деревянных конструкций и изделий, домашней, конторской и мягкой мебели и оборудования, перегородок, конторского и торгового оборудования	Деревянные отходы, стружка, опилки, металлы, пластмассы, ткани, клеи, шпаклевка, краска, растворители, ткани, набивочный материал
Швейное производство	Раскрой, пошив, сортировка по размерам, глажение	Ткани, нитки, металлы, пластмассы, резина, кожа, мех
Картонно-целлюлозные комбинаты, типографское и издательское дело	Изготовление бумаги и картона, переработка бумаги и картона, изготовление упаковочного материала, издание газет и литературы, литографическая печать, гравирование и переплетные работы	Обрывки бумаги и тканей, химикалии, вещества, служащие наполнителями бумаги, картон, типографская краска, клей, металлы
Химическое и фармацевтическое производство	Обработка и изготовление неорганических химикатов, включая лаки, краски, взрывчатые вещества, лекарства, супы и другие материалы	Органические и неорганические химикаты, металлы, пластмассы, резина, стекло, масла, лаки, растворители, пигменты
Резинотехническая промышленность	Изготовление синтетического каучука и полимеров	Остатки каучука и пластмасс, ламповая сажа, отвердители и красители, металлы
Овчинно-шубное и кожевенное производство	Дубление и выделка кожи и меха, раскрой и пошив изделий	Обрезки кожи и меха, пряжа, красители, реактивы для обработки и дубления кожи и меха
Металлургическая промышленность	Плавление, отливка, ковка, волочение, прокат, формование, штамповка	Лом черных и цветных металлов, окалина, формовочные смеси, связующие материалы, шлаки
Металлообработывающая промышленность и машиностроение	Изготовление металлической тары, инструмента, скобяных изделий, водопроводной арматуры, строительных конструкций, оборудования и машин, судов для строительной, горной, транспортной промышленности и флота	Металлолом, формовочные смеси, дерево, пластмассы, смолы, резина, ткани, кожа, краски, растворители, нефтепродукты, гальваношлаки, стекло

Основное производство	Основные процессы образования отходов	Виды промышленных отходов
Электротехническая промышленность	Изготовление электротехнического оборудования, приборов и средств связи с использованием станочного оборудования, волочения, формования, сварки, штамповки, гальваники, сушки и пайки	Металлолом, графит, стекло, редкие и цветные металлы, резина, пластмассы, смолы, стекловолокно, обрезки ткани, краски, растворители
Производство строительных материалов и стекла	Производство цемента, гипса, обработка камня и изготовление изделий из камня, абразивов, асбестоцементных изделий, получение и обработка стекла	Стекло, цемент, глина, керамика, гипс, асбест, камень, бумага, абразивы
Приборостроение	Изготовление аудио- и видеоаппаратуры, лабораторных и исследовательских приборов	Металлы, стекло, пластмассы, смолы, кожа, резина, кость, пластмассы, ткани, клеи, краски, растворители
Производство ювелирных изделий и украшений	Изготовление ювелирных изделий из драгоценных металлов и металлических украшений с различными покрытиями, игрушек, спортивных товаров, пуговиц, значков и медалей	Металлы, стекло, пластмассы, кожа, резина, кость, ткани, солома, клеи, краски, растворители, гальваношлаки

По данным американских исследований, промышленный рабочий «производит» примерно в 8 раз больше твердых промышленных отходов, чем бытовых, образующихся в среднем на одного городского жителя. Обыкновенный служащий «производит» в виде мусора, официальных бумаг, остатков пищи, использованных бумажных полотенец, газет и других отходов столько же, сколько и дома.

Из огромных объемов добываемого в мире минерального сырья, исчисляемого десятками миллиардов тонн, непосредственно в производстве используется лишь 5...10%. Остальное добываемое количество сырья представляет собой отходы горнодобывающих и горноперерабатывающих производств. Эти отходы включают некондиционные полезные ископаемые, вскрышные и вмещающие породы, отходы обогатительного и металлургического производств, отходы энергетического хозяйства и составляют большую часть (70...80%) всей массы твердых, жидких и газопылевых отходов всех основных производств.

Накопление огромных объемов полиминеральных образований в отвалах, хвостохранилищах, шламохранилищах и на других объектах размещения отходов нарушает природные ландшафты, загрязняет воздушный и водный бассейны, приводит к изъятию из

хозяйственного оборота земельных площадей и непроизводительным затратам на хранение отходов.

В связи с истощением запасов высококачественных (богатых) руд и вовлечением в производство бедных и труднообогатимых руд скорость накопления отходов в горной промышленности постоянно возрастает.

Все промышленные отходы различаются по классам токсичности и степени опасности. Класс токсичности определяют на основе ПДК химических веществ, содержащихся в отходах. Индекс токсичности каждого компонента твердых отходов рассчитывают по формуле (1.1), а суммарный индекс токсичности — по формуле (1.2), с помощью которого по таблице 1.3 определяют класс токсичности и соответствующую ему степень опасности отхода.

$$K_i = \text{ПДК}_i / (S + C_b)_i, \quad (1.1)$$

где  $\text{ПДК}_i$  — предельно допустимая концентрация токсичного вещества, содержащегося в отходе;  $S$  — коэффициент, отражающий растворимость его в воде (величина безразмерная);  $C_b$  — содержание данного компонента в общей массе отходов, т/т;  $i$  — порядковый номер данного компонента.

$$K_\Sigma = 1 / n^2 \sum_{i=1}^{i=n} K_i, \quad (1.2)$$

где  $n$  — выбранное (1...3) число компонентов, имеющих минимальные значения  $K_i$ . Причем  $K_1 < K_2 < K_3$  и  $2K_1 > K_3$ .

### 1.3. Классификация опасности отходов производства на основе ПДК химических веществ, содержащихся в них

Расчетное значение $K_\Sigma$	Класс токсичности	Степень опасности отходов
Менее 2	I	Чрезвычайно опасные
2...6	II	Высокоопасные
16...30	III	Умеренно опасные
Более 30	IV	Малоопасные

В соответствии с правилами охраны окружающей среды от отходов производства и потребления использование, обезвреживание и захоронение отходов I, II, III классов, а при необходимости и IV класса токсичности осуществляют на специализированных предприятиях или на полигонах по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов, обустроенных в соответствии со СНиП. При этом следует отметить, что границы территорий, отведенных для размещения опасных отходов, должны находиться на расстоянии не менее 3 км от границ городов и населенных пунктов, лесопарковых, курортных, лечебно-оздоровительных,

рекреационных зон и зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения, а также в районах развития геотектонических структур, образований и процессов.

Кроме того, часть промышленных отходов, полученных на одной стадии производства, может быть использована в качестве исходного материала на другой стадии, если он удовлетворяет техническим требованиям и условиям его применения. Другую часть отходов утилизируют совместно с твердыми бытовыми отходами на полигонах или санкционированных свалках. Третью часть промышленных отходов, относящихся к наиболее опасной категории, обезвреживают и захоранивают на специальных полигонах.

Специальные полигоны организуют двух видов: специализированные и комплексные.

*Специализированные* полигоны предназначены для обезвреживания одного вида отходов только захоронением или химическим способом.

*Комплексные* полигоны предназначены для централизованной переработки и обезвреживания твердых, пастообразных и жидких отходов с использованием нескольких способов их обезвреживания. Территорию комплексных полигонов разделяют в зависимости от вида отходов на зоны: приема и обезвреживания твердых негорюемых отходов; приема и захоронения жидких и химических отходов и осадков сточных вод, не подлежащих утилизации; захоронения особо вредных отходов; огневого уничтожения горючих отходов (отходов нефтесточков, твердых горючих отходов и др.).

Для захоронения промышленных отходов используют котлованы глубиной до 10...12 м, разбитые на карты-котлованы размерами в плане до 200 × 200 м, и штабеля высотой до 9...10 м, а для особо вредных отходов — специальную тару, размещаемую в котлованах, и железобетонные резервуары.

Основание полигонов должно быть водонепроницаемым, поэтому в основании карт-котлованов и штабелей обязательно устройство противодиффузионных экранов и разгрузочных дренажей, исключающих эмиссию загрязняющих веществ в окружающую среду.

При обезвреживании жидких отходов производства на специализированных полигонах в котлованах их загущают высушенной до 0,5%-й влажности и измельченной глиной.

Отходы гальванического производства и отходы, содержащие неорганические соединения, обезвреживают каскадным методом последовательной химической нейтрализации по следующей технологической схеме:

осаждение взвесей механических примесей и солей из жидких отходов, принимаемых в первом котловане;

поддержание окислительно-восстановительных процессов во втором котловане после перекачки отходов из первого и их активизация за счет добавления соответствующих отходов или химических реактивов;

осаждение гидроокисей металлов в третьем котловане за счет добавления промышленных отходов, имеющих реакцию среды  $pH \geq 7$ ;

перекачка жидких обезвреженных отходов в четвертый котлован для отстаивания, из которого осветленную жидкость подают на испарение.

Смолообразные и взрывоопасные жидкости и суспензии обезвреживают огневым (термическим) способом ликвидации токсичных отходов. Для обезвреживания таких отходов используют реакторы циклического типа, оборудованные форсунками, через которые подают отходы в камеру сжигания для их уничтожения и NaOH для снижения токсичности отходящих газов.

Например, взрывоопасные жидкости, суспензии и пасты, содержащие высокотоксичные минеральные включения, сжигают в цилиндрических вертикальных печах с верхним отводом отходящих газов. Внутренняя поверхность камеры сжигания печей футерована диатомовым и шамотным кирпичом. Отходы на сжигание подают в жидком виде диспергаторами, выполненными в виде труб диаметром 10...20 мм. Для поддержания режима обезвреживания (процесса горения) отходов в камеры сжигания подают топливо из специальной емкости насосом с последующим распылением его форсунками, установленными на линии подвода воздуха в нижней части камеры горения.

Промышленные сточные воды химической промышленности, содержащие токсичные вещества и ядохимикаты, обезвреживают в топках и реакторах циклического действия, в которых при высоких температурах токсичные органические соединения полностью ликвидируются.

Токсичные твердые горючие отходы сжигают в установках, укомплектованных вращающейся печью непрерывного действия диаметром 2 м и длиной 10 м. Растопка печей и стабилизация в них процесса горения отходов обеспечиваются подачей через форсунки жидкого топлива.

Промышленные отходы, допускаемые для совместного складирования с твердыми бытовыми отходами (ТБО), должны отвечать следующим требованиям: иметь влажность не более 85 %, не быть взрывоопасными, самовоспламеняющимися, самовозгорающимися. Основным санитарным условием совместного захоронения промышленных и бытовых отходов является требование — их токсичность не должна превышать токсичность бытовых отходов.

Промышленные отходы IV класса опасности, принимаемые без ограничения в количественном отношении, используют в качестве

изолирующего материала, укладываемого по верху отсыпаемых слоев ТБО.

К таким отходам относят: алюмосиликатный шлак, шлак с фильтров-прессов при производстве силиката; кремнезем, гранулированный шлак производства соды; отходы дистилляции в виде  $\text{CaSO}_4$  содово-цементного производства; хлорид-натриевые осадки сточных вод производства эпоксидных смол; формовочные стержневые смеси, не содержащие тяжелых металлов; графит отработанный производства карбида кальция; асбестоцементный лом, асбестовая крошка; твердые отходы шиферного производства; отходы бентонита; известь-кипелка, известняк, шламы после гашения; твердые отходы химически осажденного мела, окись алюминия в виде отработанных брикетов (при производстве  $\text{AlCl}_3$ ), сплав солей сульфата натрия; силикагель (из адсорберов осушки нетоксичных газов); хлорная известь нестандартная, шлаки ТЭЦ, котельных, работающих на угле, торфе, сланцах или ТБО, шлифовальные материалы.

Перечисленные отходы характеризуются содержанием токсичных веществ в водной вытяжке (1 л воды на 1 кг отходов), по интегральным показателям — биохимической потребности в кислороде (БПК<sub>20</sub>) и химической потребности в кислороде (ХПК) — не выше 300 мгО<sub>2</sub>/л, что соответствует токсичным веществам, содержащимся в фильтрате ТБО. Кроме того, такие отходы должны иметь однородную структуру с размером отдельных фракций менее 250 мм.

Промышленные отходы, характеризующиеся содержанием в водной вытяжке токсичных веществ на уровне фильтрата из ТБО и значениями БПК<sub>20</sub> и ХПК в пределах 3400...5000 мгО<sub>2</sub>/л и относящиеся к III и IV классам опасности, можно захоранивать совместно с ТБО в ограниченном количестве (не более 30 % массы принимаемых ТБО).

Отходы производства, содержащие радиоактивные, взрывоопасные, легковоспламеняющиеся, самовозгораемые, а также чрезвычайно опасные, высокоопасные и иные особо опасные вещества, запрещено вывозить на полигоны ТБО для совместного их захоронения. Запрещено вывозить люминесцентные лампы и ртутьсодержащие отходы, отходы черных и цветных металлов, отработанные нефтепродукты (минеральные масла, топливо, плавающие нефтепродукты из очистных сооружений), отработанные эмульсии, смазочно-охлаждающие жидкости, отработанные растворители. Не принимаются для захоронения на свалках осадки очистных сооружений и станций нейтрализации производственных сточных вод, шламы гальванических ванн и ванн травления, растворы и электролиты, отходы лакокрасочных материалов, кубовые остатки и другие горючие отходы. Не подлежат утилизации на свалках и полигонах ТБО изношенные покрышки, камеры, кислотные и щелочные ак-

кумуляторные батареи, отходы, загрязненные нефтепродуктами (ветошь, опилки, бумага и т. п.), осадки очистных сооружений ливневой канализации и мойки автомобилей, а также больничные отходы.

К больничным отходам относят отходы лечебных учреждений, медицинских научно-исследовательских институтов (особенно туберкулезных и венерологических отделений), а также ветеринарных лечебниц, которые опаснее в инфекционном отношении, чем ТБО.

Больничные отходы включают специфические компоненты — перевязочный материал, операционные отходы, гипсовые повязки, трупы животных, остатки кормов и подстилку. К отходам с повышенной санитарной опасностью относят и отходы парикмахерских. Полностью больничные отходы обезвреживают термическим методом. Однако из-за низкой теплотворной способности больничных отходов (2800...3200 кДЖ) для полного их сжигания требуется дополнительный расход топлива (жидкого или газа).

## 1.2. ОТХОДЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

При выращивании и уборке урожая, переработке, хранении и подготовке к продаже продуктов сельского хозяйства образуется огромное количество отходов. По данным американских специалистов сельского хозяйства, известно, что от всей массы кукурузы, выращенной для консервирования, примерно 50 % составляют полевые отходы, около 30 % — отходы обработки и менее 20 % — само зерно в консервированном виде. При выращивании риса образуется большое количество соломы, а обмолот риса дает 20 % шелухи, содержащей 18 % двуокиси кремния, трудносжигаемой и не находящей никакого применения. К отходам при производстве сельскохозяйственных культур относят также отходы урожая, главным образом это листья, стебли, обрезки, падалица и отбракованные фрукты в виде влажных отходов, жнивье и солома, скорлупа и шелуха, мешки из-под удобрений и т. п.

Очень большие объемы отходов образуются в животноводстве и птицеводстве. Одна молочная ферма со 100 дойными коровами дает примерно 14 т твердых отходов в сутки. Один откормочный комплекс на 10 тыс. голов крупного рогатого скота может дать 260 т отходов в сутки.

На птицефабрике производительностью 1 млн яиц в сутки ежедневно образуется около 50 т отходов. Основные сведения о твердых отходах, получаемых на животноводческих фермах и птицефабриках, приведены в таблице 1.4.

#### 1.4. Основные сведения о твердых отходах животноводства и птицеводства

Источники отходов отраслей сельского хозяйства	Образование навоза на 1 гол. в год, т	Вид основных отходов	Состав твердых отходов
<b>Животноводство:</b>			
крупный рогатый скот	10	Древесина, мешки из-под удобрения, навоз, туши животных, пестициды, инсектициды, фунгициды, глистогонные средства и микробициды	Опилки, щепа, сучья, обрезки, лигнин, органические волокна, азот, фосфор, калий, белки, жиры и сало, углеводы, аммиак и нитраты
лошади, мулы	10		
свиньи	8		
овцы	3		
<b>Птицеводство (домашняя птица):</b>			
бройлерные цыплята	0,005	Древесина, мешочки из-под удобрения, птичий помет, тушки птицы	Аммиак и нитраты, белки и им подобные вещества, мясо, кровь, различные жиры, хлорсодержащие, органические и неорганические соединения, фосфор, соль
индюшки	0,025		
куры-несушки	0,05		
утки, голуби, куропатки	0,05		
<b>Комнатные животные:</b>		—	—
кошки	0,06		
собаки	0,1		

Наибольшую часть твердых отходов в животноводстве составляет навоз. Утилизируют его, как правило, путем вывоза на поля с последующей заправкой в почву. Удобрительная ценность навоза зависит от способа содержания скота и метода его удаления. Как показывает отечественный опыт, лучшей удобрительной ценностью обладают органические удобрения (навоз), получаемые при подстилочном содержании скота с механизированной системой удаления навоза по сравнению со стойловым содержанием скота и гидромеханизированной системой удаления навоза.

#### 1.3. ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ

В отходы потребления входят изделия и материалы, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа. К отходам потребления относят ТБО, образующиеся в результате жизнедеятельности людей.

Источники образования отходов следующие: жилые индивидуальные и многоэтажные дома; хозяйственные учреждения, магазины, культурные заведения, предприятия общественного питания, гостиницы, бензоколонки; коммунальные службы (снос и строительство зданий, уборка улиц, зеленое строительство, парки, пляжи, остаточные продукты от сжигания и переработки мусора, водоснабжения и водоотведения); учреждения (вузы, школы, дошколь-

ные учреждения, больницы, тюрьмы); промышленность; сельское хозяйство.

В крупных городах России отходы составляют: промышленные отходы — 45 %; отходы, образующиеся на очистных сооружениях систем водоснабжения и водоотведения, — 31; твердые бытовые отходы — около 17; осадки ливневых очистных сооружений — около 4,8; отходы от зеленого хозяйства города — около 2,17; радиоактивные отходы — около 0,03 %.

Доминирующими составляющими образующихся в городах отходов являются промышленные отходы, иловой осадок сточных вод городских канализаций и ТБО.

На станциях аэрации ежедневно образуются осадки сточных вод, состоящие из отработанного биологически активного ила, а также песка, частиц текстиля, бумаги и других материалов и предметов. Отработанный ил можно было бы использовать как удобрение в зеленом городском хозяйстве, но он содержит недопустимое количество солей тяжелых металлов и других загрязняющих веществ.

Осадок сточных вод складывают на станциях аэрации, подавая их (влажностью около 97 %) по системе трубопроводов на иловые карты полей фильтрации для последующей подсушки в течение нескольких лет (до влажности 87 %). Далее подсушенный осадок из иловых карт вывозят, как правило, для захоронения.

Общая площадь иловых карт полей фильтрации в составе сооружений очистки городских сточных вод по России составляет примерно 8 тыс. га (в Москве 900 га). Долгое хранение осадка сточных вод на иловых картах полей фильтрации представляет опасность для подземных вод и почвы.

Осадки ливневых стоков также представляют экологическую опасность, прежде всего из-за содержания в них взвешенных и растворимых веществ, нефтепродуктов, хлоридов. Они загрязняют, как правило, реки и водоемы, расположенные в пределах города или населенного пункта.

Отходы зеленого городского хозяйства — это в основном листья и сучья, образующиеся естественным путем и в результате обрезки, практически безвредны для окружающей городской среды. В Западной Европе их предварительно сортируют и затем измельчают и укладывают в бурты для последующего аэробного их компостирования на специально подготовленных площадях. Получаемый при этом компост используют обратно в городском зеленом хозяйстве.

Радиоактивные отходы являются потенциальным источником радиоактивного заражения. Как правило, это отработанные радиоактивные источники различных приборов, медицинских установок, научного оборудования.

В состав городских отходов входят и строительные, образующиеся при сносе и реконструкции зданий и сооружений, производстве строительных материалов, деталей и конструкций, ремонте жилья, инженерных сетей и сооружений. Как показывает практика, в раз-

рушаемых строительных конструкциях присутствуют вредные вещества (асбестовые продукты, отвалный материал с повышенной радиоактивностью, использованный для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, средства защиты деревянных частей зданий и сооружений, битум, гудрон, деготь, краски и другие виды загрязняющих веществ).

В то же время отходы строительного производства представляют собой вторичное сырье, использование которого после переработки на вторичный щебень и на песчано-гравийную смесь может снизить затраты на новое строительство и одновременно нагрузку на городские полигоны, исключив образование несанкционированных свалок.

Редко принимают в расчет такой источник образования отходов в городе, как подлежащие рекультивации ранее образовавшиеся несанкционированные свалки. Это, как правило, старые, стихийно образовавшиеся свалки, выделяющие метан и содержащие соли тяжелых металлов, загрязненные радиоактивными материалами, которые отравляют подземные воды, почву, атмосферный воздух.

Наиболее сложная задача для городских властей — утилизация ТБО, образующихся в жилых и общественных зданиях от населения. Примерный состав отходов, образующихся в жилых и общественных зданиях в крупных городах, приведен на рисунке 1.2.

В развитых странах производится от 0,365 до 1,1 т ТБО в год на душу населения. В Москве норма накопления ТБО составляет 1 м<sup>3</sup>, или 0,25 т, а в среднем по России — 0,195 т на 1 чел. в год.

Нормы накопления — это количество отходов, образующихся на расчетную величину (в жилом секторе — человек; в гостинице — одно место; для магазинов и складов — 1 м<sup>2</sup> торговой площади и т. д.) в единицу времени (день, год). Нормы накопления определя-

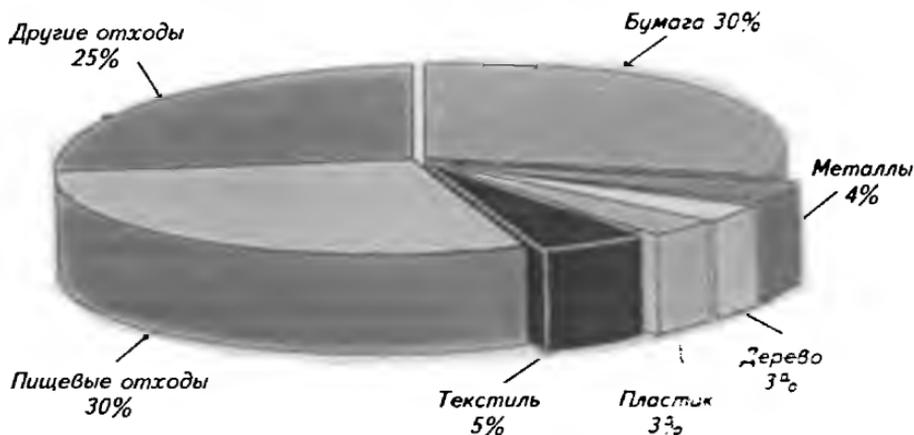


Рис. 1.2. Примерный состав ТБО

ют в единицах массы (кг) или объема (л, м<sup>3</sup>). На нормы накопления и состав ТБО влияют следующие факторы: степень благоустройства жилищного фонда (наличие мусоропровода, газа, водопровода, канализации, системы отопления), этажность, вид топлива при местном отоплении, степень развития общественного питания, культура торговли, уровень благосостояния населения. На объемы образования золы и шлака главным образом влияет продолжительность отопительного периода. Потребление населением овощей и фруктов также влияет на нормы образования отходов. Для крупных городов нормы накопления отходов выше, чем для средних и малых.

Ориентировочные нормы накопления ТБО, образующихся в жилых зданиях и в отдельно стоящих объектах общественного назначения, приведены в таблице 1.5.

Как видно из таблицы 1.5, нормы накопления отходов от учреждений и предприятий общественного назначения в крупных городах составляют 30...50 % норм накопления от жилых зданий.

#### 1.5. Ориентировочные нормы накопления ТБО, образующихся в жилых зданиях и в отдельно стоящих объектах общественного назначения

Объект образования отходов	Расчетная единица	Нормы накопления ТБО в год		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
		кг	м <sup>3</sup>	
Жилые дома благоустроенные	На 1 чел.	180...225	0,9...1,1	190...220
Жилые дома неблагоустроенные	То же	350...450	1,2...1,5	300
Жидкие отходы из непроливаемых выгребов домов без канализации	»	—	2,0...3,25	1000
Гостиница	На 1 место	120	0,7	170
Детский сад, ясли	То же	95	0,4	240
Учебные заведения	На 1 участок	24	0,12	200
Театр, кинотеатр	На 1 место	30	0,2	150
Учреждение	На 1 сотрудника	40	0,22	180
Продовольственный магазин	На 1 м <sup>2</sup> торговой площади	160...250	0,8...1,5	160...190
Промтоварный магазин	То же	80...200	0,5...1,3	150...160
Рынок	»	100...200	0,6...1,3	160...170
Санатории, пансионаты, дома отдыха	На 1 место	250	1,0	250
Вокзалы, автовокзалы, аэропорты	На 1 м <sup>2</sup> площади	125	0,5	250
Больницы	На 1 койку	228	0,69	330
Поликлиники	На 1 посещение	30	0,156	190

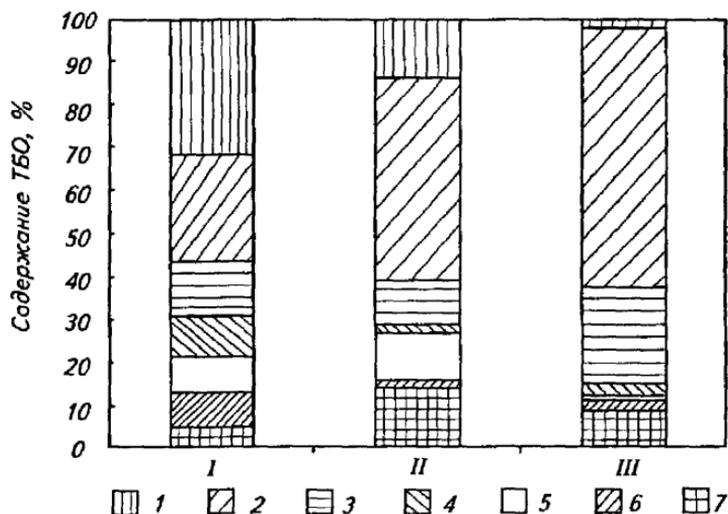


Рис. 1.3. Морфологический состав ТБО, образующихся в странах с различными экономическими условиями:

I — с развитой экономикой; II — с переходным периодом развития экономики; III — слаборазвитые; 1 — бумага; 2 — органика; 3 — другие отходы; 4 — стекло; 5 — пластик; 6 — металлы; 7 — текстиль, резина, кожа

Объемы накопления ТБО и их морфологический состав разнообразны и зависят не только от экономических условий страны, но и времени года и многих других факторов. Сравнение морфологических составов ТБО, образующихся в странах с различным уровнем дохода, показано на рисунке 1.3. Изменение морфологического состава ТБО в зависимости от климатических зон для условий России приведено в таблице 1.6.

1.6. Морфологический состав ТБО, образующихся в разных климатических зонах, % массы

Компонент	Климатическая зона		
	средняя	южная	северная
Пищевые отходы	35...45	40...49	32...39
Бумага, картон	32...35	22...30	26...35
Дерево	1...2	1...2	2...5
Черный металлолом	3...4	2...3	3...4
Цветной металлолом	0,5...1,5	0,5...1,5	0,5...1,5
Текстиль	3...5	3...5	4...6
Кости	1...2	1...2	1...2
Стекло	2...3	2...3	4...6
Кожа, резина	0,5...1	1	2...3
Камни, штукатурка	0,5...1	1	1...3
Пластмасса	3...4	3...6	3...4
Прочее	1...2	3...4	1...2
Отсев	5...7	6...8	4...6

В проблеме удаления ТБО большое значение имеют использованные упаковочные материалы (выброшенные консервные банки и бутылки, коробки из-под сигарет), а также газеты и журналы, бумажные и целлофановые пакеты и другие подобные предметы.

Упаковочные материалы (бумага, картон, стекло, металл, дерево и пластмасса) — это только одна часть всех ТБО, которая составляет около 20 % отходов, а другая — это пищевые отходы, срезанная трава газонов и листья, зола, газеты и журналы, выброшенные игрушки и инструменты, тряпки, мебель и другие предметы (новогодние елки, изношенные шины, батарейки, а иногда стиральные машины, телевизоры и холодильники), составляющие около 80 % отходов, поступающих от населения.

На технологию и организацию сбора, транспортировку и параметры оборудования мусороперерабатывающих заводов влияет фракционный состав ТБО (процентное содержание массы компонентов, проходящих через сита с ячейками различного размера) (табл. 1.7).

### 1.7. Ориентировочный морфологический и фракционный состав ТБО, % массы

Компонент	Размер фракций, мм				
	более 250	150...250	100...150	50...100	менее 50
Пищевые отходы	—	0...1	2...10	7...12,6	17...21
Картон, бумага	3...8	8...10	9...11	7...8	2...5
Дерево	0,5	0...0,5	0...0,5	0,5	0...0,5
Металл	—	0...1	0,5...1	0,8...1,6	0,3...0,5
Текстиль	0,2...1,3	1...1,5	0,5...1	0,3...0,8	0...0,6
Кости	—	—	—	0,3...0,5	0,5...0,9
Стекло	—	0...0,3	0,3...1	1...2	1...1,6
Кожа, резина	—	0...1	0,5...2	0,5...1,5	—
Камни, штуртурка	—	—	0,2...1	0,5...1,8	0,5...2
Пластмасса	0...0,2	0,5...1	1...2,2	1...2,5	0,2...0,5
Прочее	0...0,3	0,2...0,6	0...0,5	0...0,4	0...0,5
Отсев	—	—	—	—	4...6
Всего	7,0	13,3	22,1	25,3	32,3

### 1.8. Объем и состав ТБО в России и США

Отходы	США	Россия	В том числе Москва
Морфологический состав, %:			
бумага и картон	40	20...36	38,2
пищевые отходы	7,4	20...38	28,6
стекло	7,0	5...7	0,6
металл	8,5	2...3	1,0
пластик	8,0	3...5	4,4
текстиль	2,1	3...6	7,0
резина и кожа	2,5	1,5...2,5	4,9
дерево, листья	3,6	1...4	9,1
другие материалы	20,9	10...35,5	10,7
Ежегодное количество ТБО:			
всего, млн т	162,9	56,0	2,5
на душу населения, т	0,665	0,195	0,25

В таблицу 1.7 не вошли сведения о крупногабаритных отходах (старая мебель, холодильники, стиральные машины, обрезки деревьев, крупная упаковочная тара), т. е. ТБО, не вмещающиеся в стандартные ( $0,75 \text{ м}^3$ ) контейнеры и собираемые отдельно. Фракционный состав, как и морфологический, несколько меняется по сезонам года и отличается в разных климатических зонах.

Объемы и состав ТБО в России и США приведены в таблице 1.8.

В целом крупные города России по нормам образования городских видов отходов практически не отличаются от мегаполисов Западной Европы, отставая несколько по количеству образующихся ТБО на душу населения.

---

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СИСТЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ



### 2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ В ГОРОДАХ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Исторически сложилось, что «на виду» всегда были жидкие и газообразные отходы (промышленные загрязнения воды и воздуха) и их в первую очередь контролировали и регулировали, в то время как твердые отходы всегда можно было увезти подальше или закопать, т. е. попросту убрать тем или иным способом. В прибрежных городах отходы довольно часто сбрасывали в море. Экологические последствия такого захоронения мусора — через загрязнение подземных вод и почв — проявлялись иногда через несколько лет или даже несколько десятков лет и были от этого не менее разрушительны.

Поэтому городские власти вынуждены были создавать системы управления отходами для того, чтобы избежать неконтролируемого распространения их или предотвратить неконтролируемую эмиссию отходов в окружающую среду. Любая система управления отходами состоит из трех систем: сбора, транспортировки и переработки.

*Система сбора отходов* предполагает наличие мест сбора бытовых отходов. В России это, как правило, контейнерные площадки с контейнерами вместимостью  $0,75...0,8 \text{ м}^3$  и мусоропроводы в многоэтажных домах, откуда отходы поступают в такие же контейнеры, размещаемые в мусороприемных отсеках.

В странах Западной Европы активно внедряют систему раздельного или селективного сбора отходов, при которой само население сортирует отходы и в отдельные контейнеры собирает стекло, бумагу и картон, а также и другие отходы. В некоторых странах отходы собирают в мешки из специального пластика, который через полгода разрушается, не загрязняя окружающую среду.

*Система транспортировки* заключается в вывозе собранных отходов специально оборудованными автомобилями к местам переработки и захоронения.

*Система переработки отходов* состоит из сооружений, в которых отходы либо хранят, либо перерабатывают с целью их нейтрализации, уменьшения занимаемого ими объема. Большую часть отходов в Европе, Америке, России вывозят на свалки и полигоны. Часть отходов сжигают, органические отходы в некоторых странах перерабатывают в так называемый компост (табл. 2.1), часть используют как вторичное сырье.

Для создания системы управления отходами вначале разрабатывают концепцию управления отходами, называемую чаще схемой санитарной очистки городов от бытовых и промышленных отходов. Схема санитарной очистки, как правило, включает четыре этапа: анализ существующего положения в системе управления отходами; разработку системы организационных мероприятий; разработку технических решений по утилизации отходов; разработку схемы финансирования на создание и эксплуатацию системы управления отходами в целом.

**2.1. Технологии переработки ТБО в экономически развитых странах, %**

Технология	США	Англия	Франция	Германия	Япония
Полигоны и свалки	84	90	55	78	57
Термический метод (сжигание)	15	9	35	20	40
Компостирование	1	1	10	2	3
Итого	100	100	100	100	100

При разработке схемы санитарной очистки необходимо учитывать ряд взаимосвязанных аспектов проблемы управления бытовыми отходами: непрерывный рост объемов ТБО как в абсолютном значении, так и на душу населения; изменение морфологического состава ТБО и непрерывное усложнение его за счет поступления экологически опасных компонентов; негативное отношение населения к традиционным методам захоронения мусора на свалках; ужесточение законодательной базы обращения с отходами, принимаемой на всех уровнях государственной власти; развитие новых технологий утилизации отходов, включая современные системы разделения, мусоросжигание, компостирование, создание современных санитарных полигонов по обезвреживанию и захоронению

отходов; усложнение системы управления и резкий рост цен утилизации отходов.

На первом этапе разработки схемы санитарной очистки уточняют морфологический состав различных отходов, проводят анализ сложившейся системы управления отходами, определяют ее достоинства и недостатки, выявляют источники финансирования, оценивают правовую основу функционирования всей системы.

Существующее положение в системе управления отходами обычно оценивают по трем основным направлениям (финансовому, организационному и социальному) развития рассматриваемого региона. Обобщенная схема анализа современного состояния системы управления отходами представлена на рисунке 2.1. Положительное состояние дел в финансовой, организационной и социальной сферах способствует достижению позитивного положения на всех этапах обращения с отходами. При отрицательном состоянии во всех этих сферах или их части возможно только негативное обращение с отходами, часто наносящее экологический ущерб окружающей среде, на ликвидацию последствий которого в перспективе потребуются значительные дополнительные финансовые вливания. Например, высокие тарифы на прием отходов для захоронения на полигонах в Подмосковье в 90-х годах способствовали образованию так называемых несанкционированных свалок. Разность объемов ТБО, образующихся в Московской области, и объемов ТБО, вывезенных на полигоны, указывает на образование несанкционированных свалок (рис. 2.2).

Успех реализации системы управления отходами во многом также зависит от совмещения интересов органов власти, охраны природы и населения (рис. 2.3).

На втором этапе разработки схемы санитарной очистки анализируют нормативно-правовые документы, применяемые в городе, определяют направления и размеры их корректировки с учетом конкретных экономических условий данного города или населенного пункта. Разрабатывают схему документооборота, определяют степень централизации для системы в целом и для каждого ее звена, совершенствуют схему организации работ. Затем определяют функции каждой организации, задействованной в системе управления отходами, ее место и взаимоподчиненность. Разрабатывают регламент обмена данными между организациями системы управления. Структурная схема управления отходами в Москве показана на рисунке 2.4.

Третий этап включает технические аспекты создания системы управления отходами. Это анализ и сравнение технологий сбора, транспортировки и переработки отходов по экономическим и экологическим критериям, по результатам которых выбирают наиболее подходящие для каждого конкретного случая технические решения. Немаловажное значение при этом имеют выбор мест для размещения объектов санитарной очистки, разработка маршрутов и график движения транспорта.

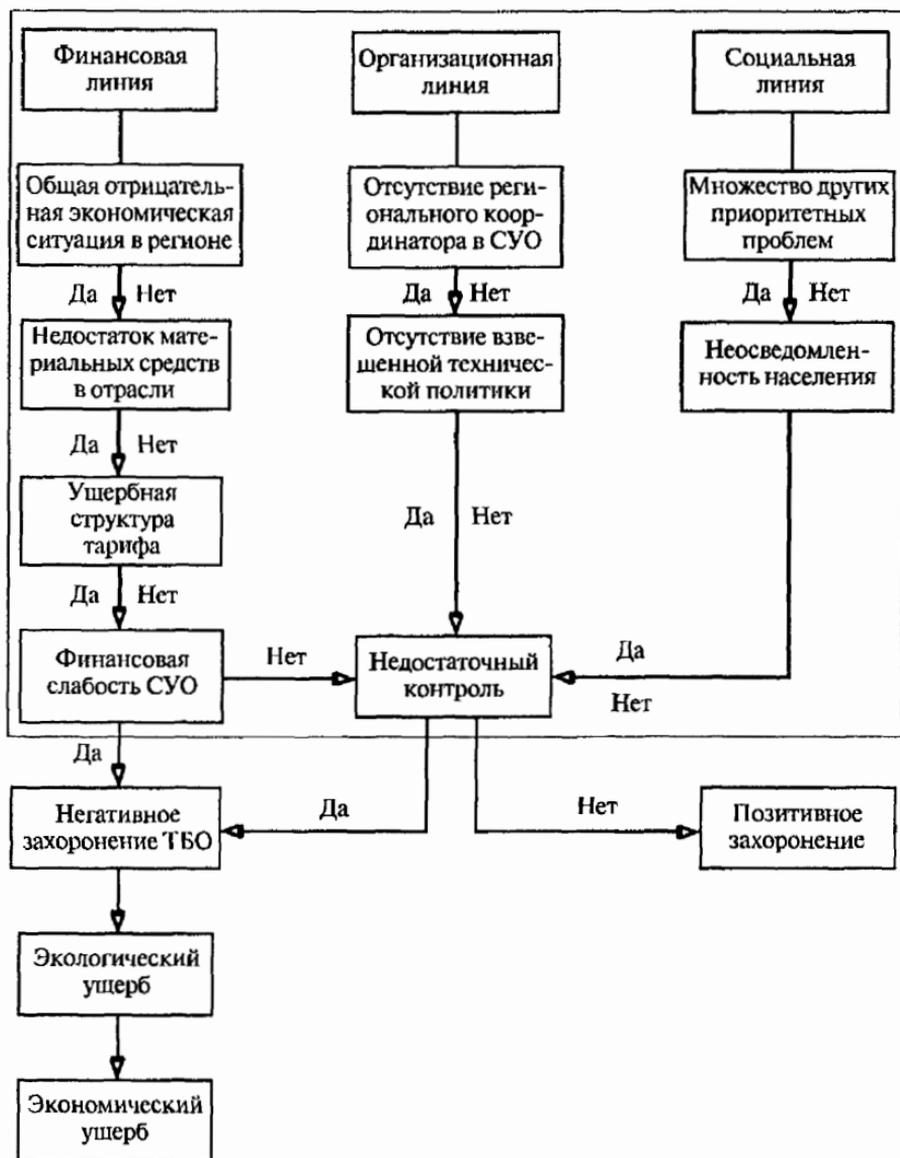


Рис. 2.1. Обобщенная схема анализа современного состояния системы управления отходами

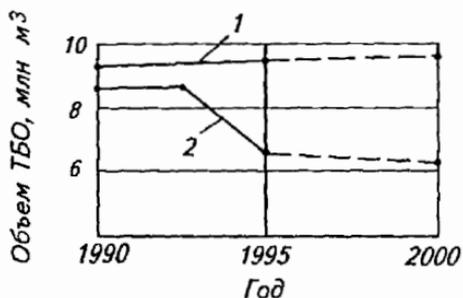


Рис. 2.2. Сопоставление объемов ТБО, образующихся в Московской области (1), и объемов ТБО, вывозимых на полигоны (2)

Четвертый этап включает рассмотрение возможности финансирования системы управления отходами. Современные эффективные методы санитарной очистки, включающие применение современных мусоровозов, строительство мусороперегрузочных станций, оснащение заводов высокоэффективными системами сжигания и газоочистки, а также обустройство полигонов, требуют значительных материальных затрат. В то же время ни один город России не имеет сбалансированного бюджета на управление отходами. Отсутствуют финансовые средства для капиталовложений. Поэтому для успешной реализации разрабатываемой системы управления отходами санитарную очистку финансируют из нескольких источников, включающих: городской бюджет, финансирование за счет пользователей, коммерческие кредиты банков и межгосударственные кредиты.

На завершающем этапе анализируют возможности каждого из перечисленных источников финансирования, выбирая наиболее перспективные, определяют тарифную политику городских властей.

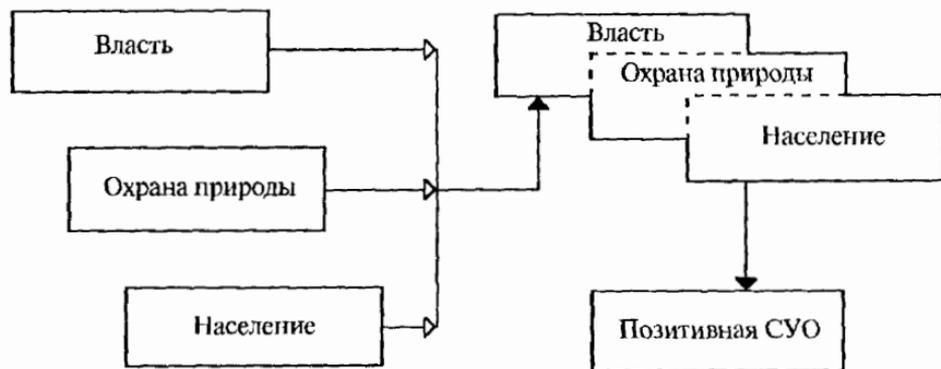


Рис. 2.3. Совмещение интересов органов власти, природоохранных органов и населения

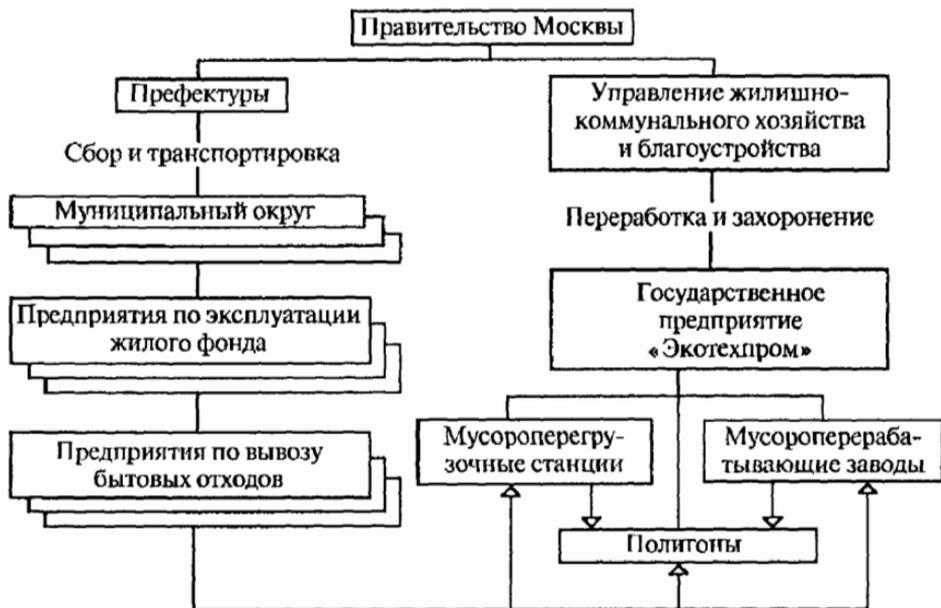


Рис. 2.4. Структурная схема управления отходами в Москве

Схему санитарной очистки нельзя разработать раз и навсегда для всей России. Ее разрабатывают и уточняют в среднем один раз в 5 лет для каждого города или региона России с учетом географического положения, экономического и социального состояния.

Разработанную схему предварительно рецензируют, утверждают (правительство региона или администрация города) и затем реализуют в соответствии с разработанным планом.

До настоящего времени практически во всех промышленно развитых странах мира подавляющее количество образующихся ТБО продолжают вывозить на свалки и полигоны (см. табл. 2.1). Складирование ТБО на полигонах требует отчуждения больших земельных площадей и сопряжено с высокими транспортными затратами. При захоронении теряются ценные компоненты, входящие в состав отходов, и возникает опасность ухудшения экологического состояния окружающей среды. В местах складирования отходов создаются условия, способствующие распространению инфекций и возникновению пожаров. Схема негативного воздействия свалок на окружающую среду приведена на рисунке 2.5.

Поэтому для решения проблем с отходами в мировой практике их направляют на промышленную переработку. Применяют следующие методы промышленной переработки ТБО: термическая об-

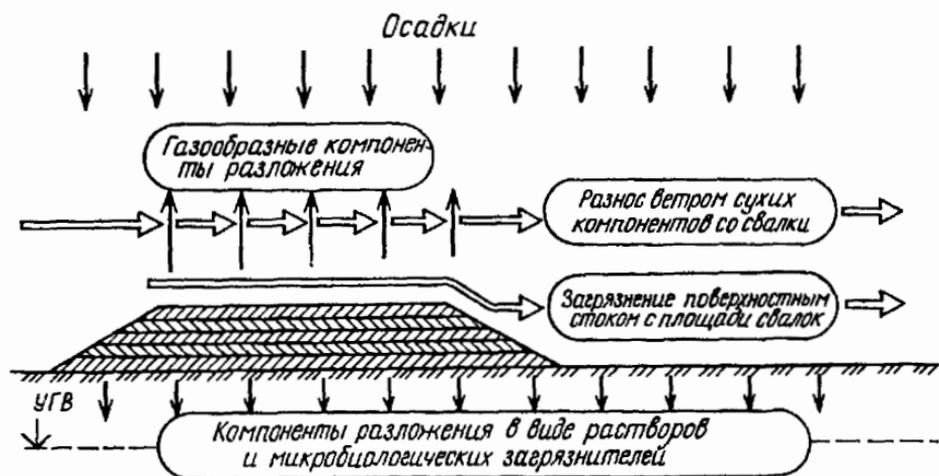


Рис. 2.5. Влияние свалок бытовых отходов на окружающую среду

работка (в основном сжигание); биотермическое аэробное компостирование (с получением удобрения или биотоплива); анаэробная ферментация (с получением биогаза); сортировка с получением ценных компонентов для их вторичного использования; комплексная переработка (с получением продукции из вторичного сырья и энергии).

*Термическая обработка ТБО* (в основном сжигание) — наиболее распространенный и технически отработанный метод их промышленной переработки. В европейских странах сжигают около 25 % объема образующихся городских отходов. Преимущества этого метода: уменьшение объема отходов до 10 раз, возможность рекуперации образующегося тепла и снижение риска загрязнения отходами грунтовых вод и почвы. Недостатки: опасность загрязнения атмосферного воздуха, уничтожение ценных компонентов, высокий процент выхода золы и шлаков, низкая эффективность восстановления черных металлов из шлаков, а также сложность стабилизации самого процесса сжигания.

*Биотермическое анаэробное компостирование* (биохимический процесс разложения органической части ТБО микроорганизмами) — второй по распространенности промышленный метод переработки ТБО. В СНГ в 1971—1994 гг. было построено 9 компостных заводов, на которых исходные ТБО компостировали без предварительной сортировки (кроме С.-Петербурга), в результате получаемый компост, как правило, не имел товарного вида, был низкого качества, загрязнен тяжелыми металлами и реализовывали его с большим трудом.

*Анаэробная ферментация* с получением биогаза, образующегося при разложении органической части отходов, — третий метод промышленной переработки ТБО. Так, в США имеется более 100 установок по получению метана непосредственно на свалках, а в Германии и Японии биогаз получают из органической части ТБО, выделяемой на специальных заводах. Анаэробную ферментацию применяют в тех случаях, когда имеется практическая потребность в биогазе.

Процессы сортировки ТБО с получением ценных компонентов для их вторичного использования применяют с середины 60-х годов, и в настоящее время в различных странах работает несколько сотен мусоросортировочных установок.

Сортировка как самостоятельная операция не решает задачу санитарной очистки города и не является методом оптимальной переработки ТБО, так как выделяемые компоненты, за исключением металлов, реализовать трудно, поэтому необходимо создание специальных производств по их переработке.

По мнению специалистов, современным экологическим и экономическим требованиям наиболее соответствует технология комплексной переработки ТБО, сочетающая комбинацию процессов сортировки, термической и биологической обработки их. Объединяющим процессом при этом является сортировка, изменяющая качественный и количественный состав ТБО, что почти вдвое сокращает объем отходов, направляемых на сжигание и компостирование, ускоряет процесс компостирования и улучшает его качество, стабилизирует термические процессы и сокращает выбросы вредных веществ с отходящими газами. Экономические показатели различных технологий переработки ТБО приведены в таблице 2.2.

## 2.2. Ориентировочные удельные экономические показатели различных технологий переработки на 1 т ТБО, долл. США

Показатель	Технология						
	Складирование на полигоне	Сжигание	Компостирование	Сортировка	Сортировка + сжигание	Сортировка + компостирование	Комплексная переработка
Капитальные вложения	47	280	90	50	330	100	240
Эксплуатационные затраты	30	9,6	10	3,2	12,8	8,7	13,5
Общие затраты	30	46,6	28	36,7	50,3	35,2	39,9
Неутилизируемая часть ТБО, подлежащая захоронению, %	100	30	30	95	15	55	8

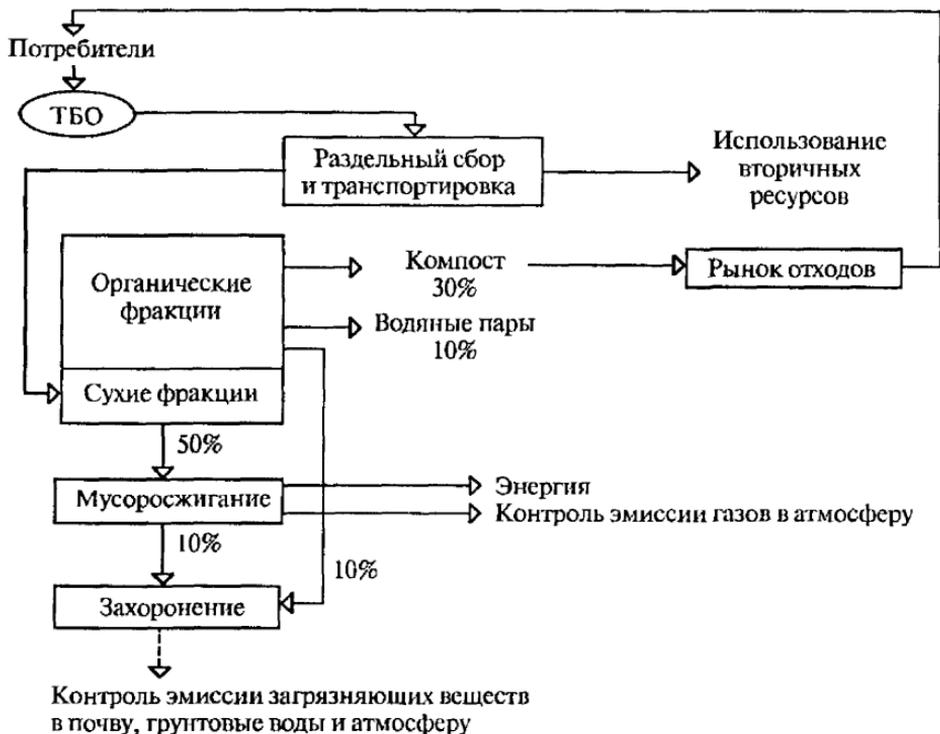


Рис. 2.6. Структурная схема управления ТБО в Нидерландах

Схема управления ТБО в Нидерландах, основанная на комплексной переработке их (сортировка, термо- и биотермическая обработка, захоронение минимального количества не утилизируемой части перерабатываемых отходов) приведена на рисунке 2.6.

## 2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И КОДИРОВАНИЕ ОТХОДОВ

В 1997 г. Государственным комитетом РФ по охране окружающей среды введен Федеральный классификационный каталог отходов для использования его в системе государственного управления в области обращения с отходами: при учете, контроле и нормировании, лицензировании деятельности, выдаче разрешений на транспортные перевозки и размещение отходов, при проектировании сооружений и проведении природоохранных мероприятий, а также при оценке материального ущерба или риска от возникновения аварии. Основные задачи каталога — организация учета всех видов отходов, информационное обеспечение государственных органов исполнительной власти о формирующемся рынке отходов с целью вовлечения их в хозяйственный оборот в качестве сырья.

Каталог отходов — это перечень видов отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков, включающих происхождение отхода, агрегатное состояние, химический состав и уровень экологической опасности.

Вид отхода — это совокупность отходов, имеющих одинаковые классификационные признаки и соответствующих по химическому составу одному и тому же уровню экологической опасности или относящихся к одному и тому же классу опасности. В каталоге они имеют одинаковый шестизначный код.

Каталог отходов содержит пять уровней классификации, расположенных по иерархическому принципу: блоки, группы, подгруппы, позиции и субпозиции.

Высший уровень классификации — блоки, формируемые по признаку происхождения отходов: минеральное, химическое, коммунальное. В каждый блок отходов того или иного происхождения входят группы, которые разделены на подгруппы, с выделением в каждой из них позиции и соответствующей ей субпозиции.

В основу выделения групп, подгрупп, позиций и субпозиций положены следующие признаки: происхождение исходного сырья, принадлежность к определенному производству или технологии, химический состав, агрегатное состояние с включением информации об экологической опасности конкретного вида отхода.

Название виду отхода присваивают с учетом его происхождения и химического состава.

Кодирование отхода — это технический прием, позволяющий представить классифицируемый объект в виде знака или группы знаков, сформированных по установленным правилам. Кодирование выполняют арабскими цифрами и буквенными символами, указываемыми в шестом разряде кода. Коды блоков, групп, подгрупп, позиций и субпозиций взаимосвязаны. Структура кодового обозначения построена по десятизначной системе и включает код блока, группы, подгруппы, позиции и субпозиции. Все виды отходов разбиты на блоки, обозначаемые цифрами 1, 3, 5, 9; цифры 2, 4, 6, 7, 8 оставлены для обозначения резервных блоков, каждый из которых может включать все необходимые уровни классификации для расширения номенклатуры отходов и выделения специфических групп отходов. Выделенный блок содержит девять групп: первая — с 11 по 19, вторая — с 21 по 29, третья — с 31 по 39 и т. д. Девятая группа каждого блока включает «другие отходы» или «прочие отходы» соответствующих блоков.

В каждую группу соответствующего блока входят девять подгрупп: например, 111—119, 311—319 и т. д., а каждая подгруппа может содержать 99 позиций: например, для 311-й подгруппы от 31 101 до 31 199 и т. д.

Таким образом, отходы кодируют следующим образом. Блок обозначают цифровым кодом с одной первой значащей цифрой, например 100 000; группу — с двумя первыми значащими цифрами,

например 110 000; подгруппу — с тремя первыми значащими цифрами, например 111 000; позицию — с пятью первыми значащими цифрами, например 111 110; субпозицию — шестизначным цифровым кодом, например 111 111. Блок, группа и подгруппа кодируют информацию, отражающую развернутую характеристику происхождения отходов; позиция и субпозиция — информацию, отражающую состав и свойства отхода. Шестая цифра кодирует уровень экологической опасности отхода в соответствии с установленным классом опасности. Вместо цифры в шестом разряде могут быть буквенные символы, обозначающие некоторые специфические виды опасности, например: «л» — легковоспламеняемые жидкие отходы; «п» — пожароопасные; «в» — взрывоопасные; «с» — отходы, способные самовозгораться; «и» — отходы, способные вызывать инфекционные заболевания у людей или животных при нарушении правил обращения с ними; «к» — отходы, вызывающие коррозию; «т» — отходы, способные выделять токсичные газы при контакте с водой или воздухом. Для каждого отхода должен быть определен его вид, имеющий шестизначный код. При поиске вида отхода в каталоге отходов находят код, а не название отхода.

### 2.3. НОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ

Под размещением отходов понимают любую операцию, связанную с их хранением и захоронением.

*Хранение или складирование отходов* включает содержание их в специально оборудованных накопителях с временной нейтрализацией, направленной на снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду, до их извлечения с целью захоронения или специальной переработки. При хранении отходов, как правило, устанавливают срок нахождения каждого отхода в местах складирования.

Под *захоронением отходов* подразумевают их изоляцию, направленную на предотвращение попадания загрязняющих веществ в окружающую среду, исключая возможность дальнейшего использования этих отходов.

Отходы складировать на специально обустроенных и предназначенных для этих целей площадках, в наземных и подземных сооружениях, находящихся как на территории предприятий, так и за их пределами. К ним относятся накопители промышленных отходов: хвосто- и шламохранилища, пруды и отстойники, могильники и прочие накопители жидких производственных отходов, а также отвалы, терриконы, золо- и шлакоотвалы, предназначенные для складирования твердых отходов различных производств. Отходы размещают также на полигонах, принадлежащих отдельным производственно-хозяйственным организациям или их группам, на которых

хранят и захоранивают отдельные виды промышленных отходов или их совокупность, и на полигонах, предназначенных для обезвреживания и захоронения опасных промышленных отходов. Кроме того, в качестве мест и объектов размещения отходов используют полигоны для совместного захоронения ТБО и отдельных видов промышленных отходов, а также санкционированные накопители или свалки ТБО и нетоксичных промышленных отходов.

Размещать отходы могут промышленные предприятия, объединения, организации, учреждения независимо от форм собственности и ведомственной подчиненности, физические лица, а также иностранные юридические и физические лица, называемые природопользователями и осуществляющие любой вид деятельности на территории РФ, в результате которой образуются отходы производства и потребления, за исключением радиоактивных отходов, их используют, обезвреживают, складировуют и захоранивают.

Специализированные предприятия, осуществляющие производственную деятельность с целью размещения отходов, также являются природопользователями, и поэтому и на них распространяется выполнение требований Закона Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды».

В соответствии с экологическими требованиями, предъявляемыми к обращению с отходами, природопользователь обязан принимать меры, направленные на обеспечение охраны окружающей среды, и соблюдать действующие экологические, санитарно-эпидемиологические и технологические нормы и правила. Сбор отходов раздельно по видам, классам опасности и другим показателям способствует более качественной их переработке и рациональному размещению. При обращении с отходами необходимо соблюдать условия, при которых отходы не оказывали бы вредного воздействия на окружающую среду и здоровье людей в период их накопления на промышленной площадке до использования в последующем технологическом цикле или до направления на объекты складирования.

Образование, сбор, накопление, хранение и первичная обработка отходов — составные части технологического процесса, в ходе которого также образуются отходы, и эти отходы должны быть отражены в технологической и другой нормативно-технической документации. Поэтому деятельность природопользователя должна быть направлена на сокращение объемов (массы) образования отходов, внедрение безотходных технологий, преобразование отходов во вторичное сырье или получение из них какой-либо продукции. При этом стремятся к образованию минимума отходов, не подлежащих дальнейшей переработке и захоронению.

Все образующиеся отходы нормируют с целью обеспечения экологических требований законодательства Российской Федерации, где для природопользователей установлены предельные нормы на образование и размещение отходов, чтобы не допустить негативно-го воздействия их на окружающую среду, жизнь и здоровье людей.

**В основу нормирования размещения отходов положены:**  
разрешительный принцип (на основе разрешений органов Комитета охраны окружающей среды РФ), учитывающий порядок накопления, хранения, размещения отходов на территории предприятия и за его пределами, а также условия передачи их другим предприятиям с целью использования, обезвреживания и удаления;

приоритетный принцип экологической безопасности над всеми прочими интересами;

принцип экологической и экономической целесообразности обоснования размещения как для предприятия, так и для региона;

условия сокращения неиспользуемых отходов;

принцип оплаты за размещение отходов (оплата только за размещение; оплата за размещение плюс за загрязнение окружающей среды; оплата за размещение плюс за загрязнение окружающей среды и плюс за вред, наносимый окружающей среде).

Нормирование объемов размещения отходов зависит непосредственно от вида размещения отходов:

размещение — как технологическая стадия, с целью накопления отходов в качестве сырья для использования по месту образования или передачи по договору другим организациям;

размещение — как временное хранение на объекте при отсутствии технологии переработки или договора о передаче другим предприятиям на период решения проблемы (разработки и реализации мероприятий или технологии). Под временным хранением понимают хранение в течение года плюс дополнительное время, определяемое утвержденным календарным планом реализации проекта использования или удаления отходов;

размещение — как длительное хранение на территории предприятия или на отдельно стоящих объектах, принадлежащих предприятию, с перспективой использования отходов в отдаленном времени;

захоронение — как способ удаления отходов без перспективы использования или с перспективой использования в отдаленном времени.

Все отходы, размещаемые либо на территории предприятия, либо вывозимые за его пределы на специальные сооружения или объекты, нормируют. Для этого пользуются нормативами предельного размещения отходов и лимитами на их размещение. Количество отходов, не отнесенное к нормативам или лимитам, является сверхлимитным.

*Норматив предельного размещения* отходов устанавливают для каждого вида отхода на один год, исходя из потребности и технической возможности размещения с учетом объема и периодичности поставок.

Норматив размещения отходов на территории предприятия зависит от мощности производства, в процессе которого образуются отходы, т. е. от нормативов их образования, и может иметь следующие значения: Нф, Нт100, Нт75, Нт50, Нт25 и др.

Норматив технологический (Нт100) — количество отходов, образующихся за год по технологическому регламенту или техническому проекту при 100%-м использовании производственной мощности. Этот норматив может изменяться в диапазоне от 100 % до 0 в зависимости от изменения годовой мощности предприятия, параметров технологического процесса, качества сырья и других показателей. Норматив фактического образования отхода (Нф) включает в себя технологический норматив и дополнительное количество, образующееся за счет нарушений технологического режима (неполадки, износ оборудования и другие причины). К нормативу фактического образования отхода относится и количество отходов, оставшееся в результате репрофилирования предприятия.

Норматив фактического образования отхода является максимальным значением норматива размещения.

В случае, когда не может быть установлен норматив размещения отхода на конкретном предприятии, вводят ограничение или так называемый лимит на размещение отхода.

*Лимит размещения отходов* — это объем или масса отходов, допускаемых к размещению в установленный период времени. Определяют его исходя из норм расхода сырья и материалов в зависимости от планируемого объема производства продукции за вычетом объема или массы отходов, используемых в качестве сырья и материалов или переданных сторонним природопользователям в качестве сырья и материалов. Любое количество отхода, при размещении которого не соблюдается экологическая безопасность, называют сверхлимитом или сверхлимитным размещением отходов.

Нормативы и лимиты размещения отходов на каждом конкретном объекте определяют предприятия, исходя из принципов и критериев нормирования, в зависимости от вида, места размещения и баланса отходов. Разработанные нормативы и лимиты согласовывают с территориальными органами Комитета охраны окружающей среды Российской Федерации, Министерства здравоохранения России, Министерства природных ресурсов РФ.

Обоснование норматива и лимита размещения отходов выполняют в такой последовательности:

вносят в графы 1, 2, 3, 4 таблицы 2.3 исходные данные с указанием видов образующихся отходов и объектов размещения каждого из них (площадка, емкость, хвостохранилище, шламохранилище, пруд, отстойник, могильник, прочий накопитель жидких отходов, отвал, террикон, шлакозолоотвал, полигон для хранения и захоронения промышленных отходов, полигон ТБО, санкционированная свалка, котлован, карьер, шахта, штольня, колодец и др.);

в графу 5 таблицы 2.3 — место нахождения объекта размещения (на территории предприятия; на другой территории, принадлежащей предприятию; на территории другого предприятия; на терри-

тории, расположенной в регионе; на территории, расположенной в другом регионе);

в графу 6 таблицы 2.3 — вид размещения отхода (технологическая стадия, временное хранение, длительное хранение, захоронение или закачка под землю);

в графу 7\* — технологию переработки отхода на самом предприятии;

в графу 8\* — информацию о наличии договора на переработку или удаление отхода, а также о периодичности удаления отхода с объекта;

в графу 9\* — информацию о наличии проекта объекта размещения отхода и дату его утверждения, при отсутствии проекта пишут слово «нет»;

в графу 10 — сведения о наличии в проекте раздела ОВОС;

в графу 11 — вид компонента природной среды, за качеством которого осуществляется мониторинг, с указанием перечня контролируемых показателей;

в графу 12\* — дату проведения экологической экспертизы с указанием исполнителя и приложением копии заключения;

в графу 13\* — информацию о сертификации объекта размещения отходов по экологическим требованиям с приложением экологического сертификата;

в графу 14 — имеющиеся нарушения экологических требований к размещению отходов и информацию о загрязнении окружающей среды.

При заполнении таблицы 2.4 и составлении баланса отходов необходимо соблюдать равенство:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (2.1)$$

где  $Q_1$  — остаток отходов на начало рассматриваемого года, т, м<sup>3</sup>;  $Q_2$  — количество отходов, образованных за год, т, м<sup>3</sup>;  $Q_3$  — количество отходов, вывезенных за год, т, м<sup>3</sup>;  $Q_4$  — количество отходов, использованных за год, т, м<sup>3</sup>;  $Q_5$  — остаток отходов на конец рассматриваемого года, т, м<sup>3</sup>.

В идеальном случае годовой баланс по отходам должен отвечать условию

$$Q_2 = Q_3 + Q_4. \quad (2.2)$$

Выражение (2.2) соответствует условиям функционирования предприятия, при которых образующиеся отходы полностью используют и (или) вывозят с предприятия. Но по ряду причин на предприятии остаются остатки отходов либо от прошлых лет, либо от текущего года. Однако в количественном отношении должна просматриваться тенденция к снижению остатка отходов на предприятии:  $Q_1 > Q_5$ , т. е. остаток на начало года должен быть меньше остатка на конец года.

Норматив образования отходов декларируется природопользователем при заполнении таблицы 2.4. Берут его из технологического регламента, и он должен соответствовать указанной мощности производства на текущий год (Нт100, Нт75, Нт50, Нт25).

Обосновывают выбор вида норматива размещения отходов путем оценки исходных данных, подготовленных по формам таблиц 2.3 и 2.4 в соответствии с условиями, приведенными в таблице 2.5.

Если потребность в размещении и переработке отходов не может быть обеспечена предприятием, то в регионе выделяют площадки временного размещения отхода, весь объем которого рассматривают как лимит с повышающим коэффициентом к оплате за размещение. Количество отхода, временно размещаемого на объекте в объеме, превышающем лимит, рассматривается как сверхлимит, а оплату за размещение при этом проводят ежегодно до решения проблемы с переработкой или удалением отхода.

При нарушении экологических требований и ухудшении показателей качества окружающей среды обязательна разработка защитных мероприятий по обеспечению экологической безопасности. В таких случаях стоимость реализации мероприятий и разница между стоимостью лимита и сверхлимита могут быть зачтенными в счет платежей, отчисляемых в экологический фонд по представлении соответствующих документов.

Размещение отходов на сооружениях, обустроенных и эксплуатируемых в соответствии с проектом (накопители жидких промышленных отходов, полигоны ТБО, полигоны по обезвреживанию и захоронению промышленных отходов), нормируют в соответствии с их годовой проектной мощностью. Стоимость размещения отходов на этих сооружениях определяется реальной стоимостью их проектирования, создания и эксплуатации.

Сооружения, не обустроенные и эксплуатируемые при отсутствии проектов, должны пройти экологическую экспертизу с целью оценки их воздействия на окружающую среду:

при положительном заключении экспертизы устанавливается лимит или квота в зависимости от годовой мощности сооружения для каждого пользователя с оплатой за размещение по договору (без оплаты в экофонд);

при отрицательном заключении все объемы размещения отходов рассматривают как сверхлимит с повышающим коэффициентом оплаты (оплата как объекту размещения, так и в экофонд — за размещение отходов, загрязняющих окружающую среду);

при сильном загрязнении окружающей среды может быть наложен запрет на размещение отходов на объекте или снижена мощность образования отходов вплоть до остановки производства, если загрязнение принимает экстремальный характер.

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» места захоронения и хранения отходов подлежат инвентаризации — систематизации всех сведений о местах

### 2.3. Примерная форма таблицы исходных данных для обоснования размещения отходов (норматива, лимита или сверхлимита)

Наименование отхода	Код ФКК	Класс опасности отхода	Наименование объекта размещения отходов	Место нахождения объекта	Вид размещения отхода	Технология переработки на предприятии	Договор, объем, срок действия	Проект, год	Оценка воздействия на окружающую среду	Контролируемые компоненты окружающей среды	Экологическая экспертиза объекта	Экологический сертификат, номер, дата выдачи	Нарушение экологических требований
1	2	3	4	5	6	7*	8*	9*	10	11	12*	13*	14

\*Данные должны быть подтверждены представлением соответствующих документов при оформлении разрешения на размещение отходов.

### 2.4. Примерная форма таблицы баланса отходов и объемов размещаемых отходов

Наименование отхода	Код ФКК	Класс опасности отходов	Размерность, т, м <sup>3</sup> , шт.	Остаток на начало года	Количество отходов за год				Норматив образования	Норматив размещения	Лимит	Сверхлимит	Периодичность удаления с объекта
					образованных	вывезенных	использованных	остаток на конец года					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
				$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$					

## 2.5. Виды норматива размещения отходов в зависимости от места его нахождения и экологических требований

Стадия размещения отхода	Место нахождения отхода	Экологические требования	Вид норматива размещения отхода	Вид оплаты
Технологическая	Другое предприятие	Соблюдены	Норматив (на период действия договора)	Плата по договору
Технологическая	То же	Нарушены (разрабатывают мероприятия)	Лимит (на период разработки и внедрения мероприятий)	Коэффициент 1
Технологическая	Территория предприятия	Нарушены (мероприятия не разрабатывают)	Лимит (на две поставки)	» 5
Временное хранение	То же	Соблюдены	Лимит на: 1-й год 2-й год 3-й год	» 0,3 » 1 » 5
Временное хранение	»	Нарушены (разрабатывают мероприятия)	Лимит (на период разработки и внедрения мероприятий)	» 5
Временное хранение	»	Нарушены (мероприятия не разрабатывают)	Лимит на 1-й год	» 25
Длительное хранение с перспективой использования	»	Соблюдены	Лимит (годовая мощность предприятия)	» 0,3
Длительное хранение без перспективы использования	»	»	То же	» 1
Длительное хранение с перспективой использования	»	Нарушены (мероприятия разрабатывают; мероприятия реализуют)	Лимит »	» 5 » 1
Длительное хранение с перспективой использования	»	Нарушены (мероприятия не разрабатывают)	Лимит на 1-й год	» 25
Длительное хранение без перспективы использования	»	Нарушены (мероприятия не разрабатывают)	Сверхлимит	*
Захоронение (закачка)	»	Соблюдены, ведут контроль за качеством окружающей среды	Лимит (годовая мощность предприятия)	Коэффициент 0,3

Стадия размещения отхода	Место нахождения отхода	Экологические требования	Вид норматива размещения отхода	Вид оплаты
Захоронение (закачка)	»	Соблюдены, контроль за качеством окружающей среды не ведут	Лимит (годовая мощность предприятия)	Коэффициент 1
Захоронение (закачка)	»	Нарушены (мероприятия не разрабатывают; мероприятия реализуют)	Лимит	» 25
			»	» 5
Захоронение (закачка)	»	Нарушены (мероприятия не разрабатывают)	Сверхлимит	*
Несанкционированное размещение отходов	—	—	»	*
Вывоз на другое предприятие, имеющее лицензию на переработку, хранение, удаление отходов	—	—	—	Договорная реальная стоимость размещения отхода
Вывоз на муниципальный полигон ТБО	Полигон ТБО	Соответствует положениям СНиП 2.01.28—85. Положительное заключение экологической экспертизы	Лимит	Коэффициент 5
Вывоз на санкционированную муниципальную свалку	Муниципальная свалка	Положительное заключение экологической экспертизы	»	» 25
Вывоз на санкционированную муниципальную свалку	То же	Отрицательное заключение экологической экспертизы	Сверхлимит	*

\* Вид платы за сверхлимит устанавливают для каждого конкретного случая.

складирования, хранения и захоронения отходов производства и потребления, которая включает:

определение площадей, занятых под места складирования, хранения и захоронения отходов;

оценку заполнения и наличия свободных объемов мест складирования и захоронения отходов;

определение основного вида отходов в местах складирования, хранения и захоронения отходов;

установление наличия в местах складирования, хранения и захоронения отходов I...IV классов опасности;

оценку технического состояния мест складирования, хранения и захоронения отходов;

оценку степени влияния мест складирования, хранения и захоронения отходов на окружающую среду;

проверку организации создания режимной наблюдательной сети на полигонах;

оценку соответствия объекта размещения отходов экологическим, строительным и санитарным нормам и правилам, а также другим нормативным документам.

Санкционированные и несанкционированные места размещения отходов производства и потребления (полигоны по обезвреживанию и захоронению промышленных и бытовых отходов, шламонакопители, отвалы, терриконы, шлако- и золоотвалы, котлованы, карьеры, выработанные шахты, штольни, подземные полости, используемые для размещения твердых отходов, и поглощающие колодцы, скважины, используемые для захоронения жидких отходов, а также искусственные сборники, бункера, контейнеры и другие места хранения и захоронения отходов) подлежат инвентаризации.

Не подлежат инвентаризации специальные места размещения радиоактивных отходов, кладбища и скотомогильники, относящиеся к ведению атомного, санитарного и ветеринарного надзора, а также места размещения отходов, рекультивированные или надлежащим образом законсервированные после окончания срока их эксплуатации.

При проведении инвентаризации особое внимание должно быть обращено на места захоронения и объекты размещения отходов, расположенные на периодически затопляемых поймах, на размываемых берегах, оползневых, селе- и лавиноопасных участках, а также на объектах, находящихся вблизи границ водоохранных зон в переполненном или аварийном состоянии.

Инвентаризации подлежат все объекты и места размещения отходов производства и потребления, занимающие площадь более 1 га или вмещающие более 1 тыс. т, либо 5 тыс. м<sup>3</sup> отходов.

Результаты инвентаризации сводят в табличную форму (табл. 2.6), где отражают следующую информацию:

приводят наименование объекта размещения отходов и его код. Принят следующий код объектов: 01 — полигоны по обезвреживанию и захоронению промышленных и бытовых отходов; 02 — санкционированные свалки; 03 — шламонакопители, хвостохранилища; 04 — отвалы, терриконы, шлакозолоотвалы и т. п.; 05 — котлованы, карьеры, выработанные шахты, штольни, подземные полос-

## 2.6. Примерная форма инвентаризационной ведомости

№ п/п	Наименование объекта	Код объекта	Расстояние до ближайшего населенного пункта, км	Площадь объекта, га	Площадь санитарной зоны, м <sup>2</sup>	Объем отходов, тыс. м <sup>3</sup>	Масса отходов, тыс. т	% заполнения объекта
1	2	3	4	5	6	7	8	9

*Продолжение таблицы по горизонтали*

Мощность объекта, тыс. м <sup>3</sup> в год	Код отходов	Начало эксплуатации объекта	Год закрытия объекта	Основные токсичные элементы	Код противофильтрационного экрана	Очистка фильтра-та	Наличие контрольных скважин	Затраты на эксплуатацию объекта, тыс.руб.
10	11	12	13	14	15	16	17	18

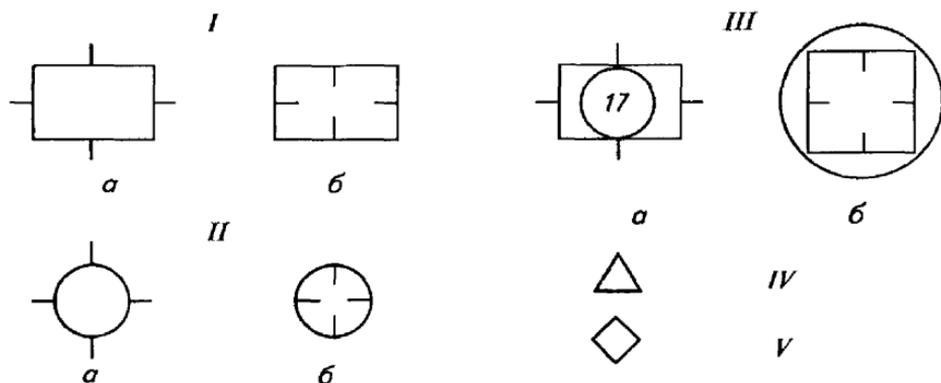
ти; 06 — поглощающие колодцы, скважины для захоронения жидких отходов; 07 — могильники отходов; 08 — места размещения отходов на длительный срок, расположенные на территории предприятий; 09 — места временного накопления на промышленных площадках; 10 — несанкционированные места размещения отходов; 11 — искусственные сборники, бункера, контейнеры и другие места хранения и захоронения отходов;

указывают отдаленность объекта инвентаризации от ближайшего населенного пункта и водоема в километрах и занимаемую им площадь в гектарах; площадь санитарно-защитной зоны для объекта, находящегося вне территории предприятия в метрах квадратных;

приводят объемы всех отходов, находящихся на объекте размещения, в тысячах метров кубических и массу отходов I, II и III классов опасности в тысячах тонн;

указывают степень заполнения объекта размещения отходов в процентах и проектную мощность объекта в тысячах метров кубических в год, определяемую количеством отходов, которые могут быть приняты объектом в течение одного года;

отмечают вид отходов: промышленные отходы (ПО); твердые бытовые отходы (ТБО); сточные воды (СВ); медицинские отходы (МО); сельскохозяйственные отходы (С/ХО); непригодные для использования в качестве удобрения (НУ);



**Рис. 2.7. Условные обозначения, применяемые при оформлении документов, инвентаризации мест захоронения и объектов размещения отходов:**

*I* — отходы производства; *II* — отходы потребления; *a* — насыпь, повышение рельефа; *б* — котлован, понижение рельефа; *III* — смешанные отходы: *a* — с преобладанием отходов производства; *б* — с преобладанием отходов потребления; 17 — порядковый номер захоронения; *IV* — зачка отходов в подземные горизонты; *V* — накопители жидких отходов

указывают год начала эксплуатации объекта и год планируемого по проекту закрытия его;

приводят перечень основных, токсичных компонентов I и II классов опасности, находящихся в отходах, размещаемых в объекте инвентаризации;

дают характеристику системы контроля состояния окружающей среды в зоне нахождения объекта размещения отходов;

приводят коды противофильтрационных экранов, определяющие тип их конструкции в соответствии со СНиП 2.01.28—85: А — грунтовые экраны (глиняный однослойный — А-1, глиняный двухслойный — А-2, грунто-битумно-бетонный — А-3); Б — бетонные и железобетонные экраны (из железобетонных плит — Б-4, из полимербетона — Б-5, бетонопленочные — Б-6); В — асфальтобетонные экраны (однослойные с битумным покрытием — В-7, двухслойные с дренажной прослойкой — В-8, с покрытием битумно-латексной эмульсией — В-9); Г — асфальтополимербетонные; Д — пленочные экраны (однослойные из полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей — Д-10; двухслойные из полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей с дренажной прослойкой — Д-11);

отмечают наличие и дают краткое описание системы сбора и очистки поверхностных и дренажных стоков, наличие системы контрольных скважин и указывают затраты, связанные с эксплуатацией объекта.

К типовой инвентаризационной ведомости прикладывают пояснительную записку с экологической оценкой воздействия хранилищ отходов на окружающую среду и дополнительные сведения, не входящие в типовую схему. Пояснительная записка должна содержать карту-схему мест захоронения и складирования отходов, охватывающую не менее 75 % накопленного количества отходов производства и потребления. На карте-схеме, выполненной в масштабе 1 : 500 000, наносят основные водные объекты и места хранения отходов посредством условных знаков, изображенных на рисунке 2.7.

Знаки, наносимые на схемах, указывают на наиболее опасные в экологическом отношении места захоронения и складирования отходов, их окрашивают в красный цвет.

Заполненную типовую инвентаризационную форму и пояснительную записку к ней утверждает руководитель территориального органа охраны природы.

## **2.4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В СИСТЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ**

Экологический контроль за всеми видами хозяйственной деятельности в системе обращения с отходами осуществляют на основе статей 68, 69, 70, 71 Закона Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» территориальные органы Госкомприроды РФ, осуществляющие государственный контроль, а также экологические службы предприятий, организаций и учреждений, осуществляющие производственный контроль.

Экологический контроль включает: анализ существующих производств с целью выявления возможностей и способов уменьшения количества и степени опасности образующихся отходов, а также проверку порядка и правил обращения с ними; проверку выполнения планов мероприятий по внедрению малоотходных технологических процессов, технологий использования и обезвреживания отходов, лимитов размещения отходов; определение массы размещаемых отходов в соответствии с выданными разрешениями; проверку эффективности природоохранных мероприятий и безопасности эксплуатируемых объектов размещения отходов для окружающей среды и здоровья населения по информации о процессах, происходящих в местах размещения отходов.

Служба производственного экологического контроля согласует с территориальными органами Госкомприроды РФ места и периодичность отбора проб для проведения инструментальных замеров, перечень контролируемых показателей, применяемые методики проведения анализов, объем и порядок представления информации о размещении отходов.

Территориальные органы Госкомприроды РФ осуществляют государственный контроль за природоохранной деятельностью в со-

ответствии с разработанными планами работ, а также при возникновении аварийных ситуаций, резком ухудшении экологической обстановки и по сигналам граждан и организаций.

Должностные лица территориального органа Госкомприроды РФ в соответствии с их полномочиями имеют право в установленном порядке проводить следующие работы: проверять предприятия и объекты по всем видам деятельности, связанным с обращением отходов; получают необходимые объяснения, справки и сведения; дают обязательные для исполнения предписания о приостановке работ, которые ведут с нарушением правил и норм безопасного обращения с опасными отходами; аннулировать или приостанавливать действие разрешения на право ведения деятельности по обращению с отходами при согласовании этой акции с органами, участвующими в оформлении данного разрешения, в случаях возникновения аварийных ситуаций, нанесения вреда окружающей природной среде и нарушения нормативных условий в обращении с отходами; привлекать в установленном порядке виновных лиц к административной ответственности, направлять материалы о привлечении их к дисциплинарной, административной или уголовной ответственности в суд, предъявлять иски через суд о возмещении ущерба и убытков, причиненных окружающей природной среде.

За несоблюдение требований, предъявляемых к обращению с отходами, предусмотрена административная ответственность. Фактами нарушения экологических требований законодательства Российской Федерации могут служить следующие действия:

деятельность по обращению с отходами без разрешения и с нарушением правил сбора и временного накопления отходов на производственной площадке;

перевозка опасных отходов в неисправных или не оборудованных для этих целей транспортных средствах;

размещение отходов в не санкционированных или не оборудованных для этих целей местах;

нарушение учета, норм и правил образования, переработки, использования и размещения отходов;

получение и передача отходов без оформленной в установленном порядке документации;

отказ в предоставлении или предоставлении неполной, искаженной информации по обращению с отходами.

Должностных лиц и граждан, учреждений, организации и предприятия независимо от организационно-правовой формы, виновных в нарушении экологических требований, штрафуют согласно ст. 84 Закона Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды».

Возмещение вреда, причиненного нарушением требований к обращению с отходами, осуществляется в установленном порядке или

на основе расчета по методикам исчисления размера нанесенного ущерба, а при их отсутствии — по фактическим затратам на восстановление нарушенного состояния природной среды с учетом понесенных убытков.

---

### **3. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**



#### **3.1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИСТЕМЕ САНИТАРНОЙ ЧИСТКИ ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

В городах и поселках городского типа России ежегодно образуется около 130 млн м<sup>3</sup> (26 млн т) ТБО. По прогнозам к 2005 г. ежегодное накопление ТБО в России возрастет до 200 млн м<sup>3</sup>. С целью охраны водных и земельных ресурсов и защиты окружающей среды, а также утилизации ценных веществ и компонентов, содержащихся в ТБО, в мировой и отечественной практике разрабатывают и широко внедряют различные технологии обезвреживания и переработки ТБО.

В мировой практике известны более 20 методов обезвреживания и утилизации ТБО. Методы обезвреживания и переработки ТБО по конечной цели можно разделить на ликвидационные (решающие в основном санитарно-гигиенические задачи) и утилизационные (решающие как санитарно-гигиенические, так и задачи использования вторичных ресурсов). По технологическому принципу методы обезвреживания и переработки ТБО разделяют на биологические, термические, химические, механические и смешанные. Большинство из перечисленных технологических приемов обезвреживания и переработки ТБО не нашли значительного распространения в связи с их технологической сложностью и высокой себестоимостью переработки ТБО. Наибольшее распространение в мировой практике получили следующие методы: складирование на свалках и полигонах, сжигание, аэробное биотермическое компостирование, сжигание или пиролиз некомпостируемых фракций, изготовление гранулированного топлива и компоста.

Анализ существующего положения с ТБО в мире показывает, что повсеместно отмечается сложная ситуация в системе их устранения главным образом из-за непропорционального ежегодного их роста, приводящего к острой нехватке мест, отводимых под свалки, которые, в свою очередь, являются экологически опасными объектами.

Наряду с этим бытовой мусор является ценным материалом. В среднем из 1 т отходов можно получить около 170 кг биогаза, 410 кг компоста, 50 кг первого отсева грубых элементов и металлолома, 250 кг второго отсева (стекло, ткань, древесина, пластмасса). Около 70 % всех отсевов можно использовать для выработки тепла путем сжигания, пиролиза, газификации, получения специального топлива (RDF). Все эти обстоятельства заставляют применять интенсивные методы утилизации ТБО: переработку с извлечением ценных компонентов (пластмассы, черных и цветных металлов, стекла, бумаги и т. д.) и получения топливных гранул RDF; сжигание с использованием различных типов решеток; пиролиз; компостирование.

Наиболее распространены в нашей стране и за рубежом такие методы, как складирование на полигонах, компостирование и сжигание.

В Нью-Йорке (США) большую часть городских отходов (около 90 % всей массы образующихся ТБО) направляют на одну из крупнейших свалок мира «Фреш Киллс», расположенную на острове Стейн-Айленд, около 24 тыс. т/сут ТБО доставляют на эту свалку круглосуточно двумя баржами. Власти Нью-Йорка поставили задачу закрыть свалку в 1991 г., но до сих пор не найдут для этого альтернативы.

Подобная ситуация с размещением отходов сложилась и во многих североамериканских городах, где более двух третей свалок были закрыты в 70-х годах, а те, что остались, заполнятся в ближайшие 5 лет.

Европейцы производят меньше мусора, но и у них существует проблема с обезвреживанием ТБО, так как Европейский континент более густо населен, чем другие. Но, несмотря на это, основным способом ликвидации ТБО в Европе остается захоронение их на свалках и полигонах (в среднем в Европе на свалки удаляют около 55 % образующихся ТБО, без учета б. СССР).

В Японии, где наиболее остро стоит территориальная проблема, идут по пути селективного сбора ТБО (в некоторых городах мусор подразделяют на 32 категории, для каждой из которых существуют специальные приемные пункты).

Кроме того, в обязательном порядке городские власти заставляют разделять мусор на горючую и негорючую части. Горючий мусор (до 72 %) направляют на мусоросжигательные заводы, негорючий — сортируют, плавят, и он идет на переработку, и только 24...25 % направляют для обезвреживания на один из 2411 полигонов захоронения ТБО, созданных с учетом соблюдения всех экологических требований.

Закрытые свалки подлежат рекультивации, и впоследствии их используют под спортивные сооружения. Единственным признаком бывшей свалки являются трубы для отвода метана из толщи свалочного грунта. Однако и в Японии не удалось полностью справиться с проблемой городского мусора, и даже уменьшение количе-

ства мусора на 80 % путем прямого сжигания подвергают критике с точки зрения его экономичности, а также из-за экологических соображений.

В городах и поселках городского типа б. СССР ежегодно образовывалось около 300 млн м<sup>3</sup> ТБО. Наибольшее количество образующихся ТБО приходилось на территорию России (в 1989 г. около 46 % общего объема ТБО, образовавшихся в б. СССР).

В недалеком прошлом у населения собиралось ежегодно около 2 млн т пищевых отходов, которые после переработки использовались в качестве корма для скота. В настоящее время промышленными методами перерабатываются около 3 % отходов. Остальные ТБО вывозят на свалки и специальный полигон захоронения отходов.

На территории России работают семь мусоросжигательных заводов и два мусороперерабатывающих предприятия. Строительство мусоросжигательных заводов (МСЗ) в б. СССР началось в 1972 г. с широким использованием импортного оборудования. Такие заводы работают в Москве, Владивостоке, Сочи, Севастополе, Пятигорске, Харькове, Киеве, Мурманске, Владимире, строятся в Днепрпетровске, Кишиневе и Саратове.

В 1989 г. на заводах России было переработано 2 % образовавшихся ТБО, на Украине — 8,2 %. В технологических циклах этих заводов не предусмотрена предварительная сортировка мусора. Мусоросжигание без предварительной сортировки приводит к выбросам в атмосферный воздух вредных веществ, таких, например, как диоксин, хлористый и фтористый водород, диоксид серы, оксид азота и углерода, токсичные углеводороды и тяжелые металлы.

В ряде городов страны построены заводы по биотермической обработке ТБО с использованием отечественного оборудования. Компостирование мусора проводится в биотермических барабанах производительностью 20...30 тыс. т в год. При сортировке мусора выделяют цветные и черные металлы, стекло, текстиль, макулатуру и другие инертные примеси. Получаемый компост используют сельские и городские хозяйства в качестве биотоплива и органического удобрения.

В Белоруссии МПЗ, построенные в Минске и Могилеве, перерабатывают более 600 тыс. м<sup>3</sup> ТБО в год, что составляет около 7 % всех образующихся отходов. Из них ежегодно извлекают и реализуют около 3 тыс. т черного металла и более 100 т цветного. В России на МПЗ Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода в 1989 г. переработано более 1 млн м<sup>3</sup> ТБО. На МПЗ Баку перерабатывают 200 тыс. м<sup>3</sup>, хотя расчетная мощность его 300 тыс. м<sup>3</sup> в год. В Казахстане (г. Алма-Ата) и Узбекистане (г. Ташкент) на МПЗ — соответственно 2,3 % и около 10 % образующихся ТБО.

В связи с постоянно усложняющимся положением в системе управления ТБО в мире намечаются следующие основные тенденции перспективного развития управления, включая организационные и технологические приемы.

1. Селективный сбор ТБО с обязательным разделением органической и минеральной частей и выделением из мусора: черных и цветных металлов, пластмассы, стекла, бумаги, пищевых отходов и т. д.

2. Извлечение и переработка ценных компонентов ТБО во вторичное сырье.

3. Расширение рынка сбыта для переработанной продукции.

4. Усиление законодательных мер по воздействию на рыночные силы, направленные на стимулирование отраслей по переработке вторичных продуктов, извлеченных из ТБО.

5. Введение экологического налога на продукцию, для упаковки которой используют материалы, не подлежащие дальнейшей переработке.

Селективный сбор подразумевает прежде всего экономическое стимулирование населения, снабжение населения пакетами для сортировки различных составляющих ТБО и организацию системы их сбора в контейнеры. Выбор технологии переработки определяется решением главной задачи — санитарной очистки города от ТБО. При этом учитывают следующие критерии:

технология переработки ТБО должна быть экологически чистой; конечные продукты переработки (компост, зола, RDF и т. д.) не должны наносить вред окружающей среде;

в связи с большим объемом перевозок объекты переработки по возможности должны быть размещены в непосредственной близости от мест образования и равномерно распределены на территории города;

максимальное использование ценных составляющих ТБО.

При выборе способа обезвреживания ТБО путем складирования их на свалках и полигонах руководствуются следующими требованиями.

1. Для достижения минимального загрязнения окружающей среды необходимы устройство водонепроницаемых защитных экранов, пересыпка ТБО инертными материалами, максимальное уплотнение ТБО, устройство системы удаления и очистки фильтрата, правильная организация работ по приемке и распределению ТБО на территории полигона.

2. Газ, образующийся в процессе эксплуатации, должен проходить специальную очистку, после чего его используют, а территории закрытых полигонов подлежат рекультивации.

3. Полигоны захоронения отходов устраивают при наличии свободных площадей, предназначенных для этих целей.

4. Ценные компоненты ТБО вторично по данной технологии практически не используют.

При выборе способа обезвреживания ТБО методом сжигания определяющим должны быть использование многоступенчатой системы очистки отходящих газов и постоянный автоматизированный контроль за качеством отходящих газов, выбрасываемых в атмосферный воздух.

МСЗ с отечественным оборудованием и одноступенчатой системой очистки газа не удовлетворяют санитарно-гигиеническим требованиям по количеству выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ ( $\text{SO}_2$  — 30...180 мг/м<sup>3</sup>;  $\text{NO}_x$  — от 10...160 мг/м<sup>3</sup>,  $\text{HCl}$  — 10...210 мг/м<sup>3</sup>,  $\text{HF}$  — 0,07...3,0 мг/м<sup>3</sup>, пыль — около 700 мг/м<sup>3</sup>). Сточные воды после предварительной их очистки направляют в городской канализационный коллектор. Шлак и золу нейтрализуют и затем их направляют на полигон для захоронения или для вторичного использования. Площадь, занимаемая МСЗ, незначительная, и разместить его можно в пределах территории практически любого города.

При выборе способа обезвреживания ТБО методом компостирования следует учитывать следующие особенности.

1. Неблагоприятный фактор в процессе работы МПЗ — выделение газов в воздушную среду в местах разгрузки ТБО, загрузки и выгрузки биобарабанов, грохочения и дробления. В среднем валовые выбросы газов в атмосферный воздух составляют около 850 г на 1 т ТБО и состоят из толуола, ксилола, углеводорода, бензола, ацетона, окиси углерода, пыли нетоксичной, а также возможно присутствие экотоксикантов в виде дибензо-парадиоксинов и фурана.

2. Обязательное извлечение из ТБО черных и цветных металлов, пластмасс и крупных некомпостируемых фракций.

3. Основной продукт переработки — компост, произведенный из ТБО, как правило, содержит тяжелые металлы, например ртуть, серебро, кадмий, сурьму, цинк, висмут, свинец, медь, селен, вольфрам.

4. Площадь, требуемая для размещения МПЗ, не всегда позволяет его разместить в пределах территории города.

При производстве гранулированного топлива используют зарубежные технологии, которые не имеют рекламаций по влиянию технологического процесса их работы на окружающую среду. Размещение таких технологических линий требует значительных площадей. В процессе переработки отходов извлекают черные и цветные металлы, пластмассы, крупные некомпостируемые фракции. Основные продукты переработки — компост и гранулированное топливо.

На заводах по сортировке ТБО должны быть системы очистки вентиляционных выбросов и выполнены мероприятия по уменьшению шума от дробильных и сортировочных машин. Качество конечных продуктов сортировки должно удовлетворять требованиям предъявляемым технологиям по их конечной утилизации. Механическая сортировка ТБО затруднена из-за наличия в них большого количества пищевых отходов (до 30 %) и, как следствие, высокой их влажности (около 52 %). В процессе сортировки извлекают черные и цветные металлы, пластмассу, стекло и текстиль (высокая стоимость сортировки ТБО не позволяет возместить затраты на производство конечных вторичных продуктов).

Наиболее распространенный и простой метод удаления отходов — метод складирования ТБО на свалках и полигонах, представляющий собой захоронение отходов в землю, которые при выполнении необходимых природоохранных мероприятий не причиняют вреда и не создают угрозы для здоровья общества. Земельные участки для размещения таких полигонов выбирают с учетом продолжительности его эксплуатации в течение 15...20 лет. Площадь таких участков обычно составляют 40...200 га и более. Однако отвод таких площадей вблизи от крупных городов становится все труднее, что заставляет искать иные методы обезвреживания ТБО.

С точки зрения экологии следует отметить, что полигон наряду с образующимся в его толще фильтратом, являющимся основным загрязнителем природной среды, выбрасывает в атмосферу метан и другие токсичные газы, а это не только загрязняет воздушное пространство вблизи полигона, но и отрицательно влияет на озоновый слой земли. Кроме того, при захоронении на полигонах теряются все ценные вещества и компоненты ТБО.

При выборе метода обезвреживания и переработки ТБО в каждом конкретном случае необходимо учитывать состав и свойства ТБО, климатические условия, потребность в органических удобрениях или тепловой энергии, экономические и экологические факторы.

### **3.2. СОСТАВ И СВОЙСТВА ОТХОДОВ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТБО**

Как отмечалось выше, на выбор промышленного способа обезвреживания ТБО существенно влияют их состав и свойства. Например, на выбор термического способа обезвреживания оказывают определяющее влияние морфологический состав отходов, их влажность и зольность, содержание органического вещества и их элементный состав, что в конечном итоге определяет количество образующегося тепла, золы и шлака, загрязняющих веществ, выбрасываемых с отходящими газами. Поэтому при исследовании состава и свойств ТБО обследуемого региона определяют их морфологический состав, плотность, влажность, зольность, содержание органического вещества и элементный состав, для чего пробы ТБО отбирают непосредственно на полигоне из массы привозимых в день отбора отходов. Основные требования к отбору проб — максимальное соответствие среднего состава исследуемых ТБО и постоянная влажность их компонентов.

Для первичной пробы берут по 30...50 кг ТБО с каждого разгружаемого мусоровоза, всего 150...200 кг. Отобранный материал перемешивают, разравнивают и из него отбирают осредненную пробу

массой 6...15 кг, заполняя без уплотнения бак вместимостью 30...60 л. Один цикл исследования включает разборку трех первичных проб для получения трех средних проб. Каждую среднюю пробу взвешивают для определения плотности и разбирают по морфологическому признаку. Предварительно перед разборкой на сите отсортировывают отсев менее 16 мм, не разделяющийся на фракции. Все отобранные фракции взвешивают в состоянии естественной влажности.

Из отсева (менее 16 мм), фракций бумаги и пищевых отходов отбирают аналитические пробы массой по 150...200 г для определения влажности, содержания органических веществ и зольности. Аналитические пробы упаковывают в герметичные стеклянные банки и отправляют в лабораторию для исследования.

Массу каждого компонента средней пробы вычисляют в процентах

$$K_n = 100b_n \Sigma b_c, \quad (3.1)$$

где  $b_n$  — масса  $n$ -го компонента средней пробы;  $b_c$  — общая масса средней пробы;  $n$  — порядковый номер компонента,  $n = 1, 2, \dots, 13$ .

Относительную влажность  $W_n$  и зольность на сухую массу  $A_{nc}$  определяют в лаборатории, а зольность на рабочую массу вычисляют по формуле, %

$$A_{np} = A_{nc}(100 - W_n)/100. \quad (3.2)$$

Содержание органического вещества на сухую массу, %

$$B_{nc} = 100 - A_{nc}. \quad (3.3)$$

Общая влажность, %

$$W_{общ} = \Sigma(W_n K_n)/100. \quad (3.4)$$

Общая зольность рабочей массы, %

$$A_{общ.р} = (A_{np} K_n)/100. \quad (3.5)$$

Общая зольность сухой массы, %

$$A_{общ.с} = 100A_{общ.р}/(100 - W_{общ}). \quad (3.6)$$

Общее содержание органического вещества в сухой массе, %

$$B_{общ.с} = 100 - A_{общ.с}. \quad (3.7)$$

Рабочая масса ТБО включает семь элементов:

$$C_p + H_p + O_p + N_p + S_p + A_p + W_p = 100 \%, \quad (3.8)$$

где  $C_p, H_p, O_p, N_p, S_p, A_p, W_p$  — содержание соответственно углерода, водорода, кислорода, азота, серы, золы и влаги. При этом влажность и зола являются балластом рабочей массы отходов при их сжигании.

В уравнении (3.8) первые шесть членов характеризуют сухую массу ТБО, а по первым пяти членам определяют их горючую массу.

Зная морфологический состав ТБО и элементный состав отдельных его компонентов, можно найти элементный состав всей массы рассматриваемых отходов, %,

$$\left. \begin{aligned} C_p &= C_{1p}I_1 + C_{2p}I_2 + \dots + C_{np}I_n; \\ H_p &= H_{1p}I_1 + H_{2p}I_2 + \dots + H_{np}I_n; \\ O_p &= O_{1p}I_1 + O_{2p}I_2 + \dots + O_{np}I_n; \\ N_p &= N_{1p}I_1 + N_{2p}I_2 + \dots + N_{np}I_n; \\ S_p &= S_{1p}I_1 + S_{2p}I_2 + \dots + S_{np}I_n; \\ A_p &= A_{1p}I_1 + A_{2p}I_2 + \dots + A_{np}I_n; \\ W_p &= W_{1p}I_1 + W_{2p}I_2 + \dots + W_{np}I_n; \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

где  $C_{1p}, C_{2p}, \dots, C_{np}$  — содержание углерода в каждом компоненте ТБО, %;  $H_{np}, O_{np}, N_{np}, S_{np}, A_{np}, W_{np}$  — то же, водорода, кислорода, азота, серы, золы и воды;  $I_1, I_2, \dots, I_n$  — доли соответствующих компонентов в общей массе ТБО, сумма которых равна единице;  $p$  — указатель рабочей массы;  $n$  — порядковый номер компонента,  $n = 1 \dots 13$ .

Элементный состав и выход летучих продуктов различных отдельных составляющих ТБО на горючую массу приведен в таблице 3.1.

3.1. Состав элементов ТБО, %

Состав ТБО	Элементный состав				
	$C_m$	$H_m$	$O_m$	$N_m$	$S_m$
Пищевые отходы	53,6	7,7	34,1	4,0	0,6
Бумага, картон	46,2	6,2	47,1	0,3	0,2
Дерево	51,0	6,1	42,6	0,2	0,1
Кожа, резина	77,9	6,0	15,1	0,3	0,7
Пластмасса	67,7	9,3	21,5	1,1	0,4
Кости	53,6	7,7	34,1	4,0	0,6
Текстиль	56,1	6,8	32,2	4,8	0,1
Отсев менее 16 мм	46,4	6,3	47	0,0	0,3

Массу каждого компонента пересчитывают с горючей на рабочую по формулам, %,

$$\left. \begin{aligned} C_{np} &= C_{nr}(100 - W_n - A_{nr})/100; \\ O_{np} &= O_{nr}(100 - W_n - A_{nr})/100; \\ H_{np} &= H_{nr}(100 - W_n - A_{nr})/100; \\ N_{np} &= N_{nr}(100 - W_n - A_{nr})/100; \\ S_{np} &= S_{nr}(100 - W_n - A_{nr})/100, \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

где  $n$  — порядковый номер компонента;  $p$  — указатель рабочей массы;  $r$  — указатель горючей массы.

Удельную теплоту сгорания ТБО в пересчете на рабочую массу вычисляют по формуле Д. И. Менделеева, кДж/кг,

$$Q_{н.р} = 4,18 \cdot \{81 \cdot C_{общ.р} + 300 H_{общ.р} - 26 \cdot (O_{общ.р} - S_{общ.р}) - 6 \cdot (H_{общ.р} + W_{общ.р})\}. \quad (3.11)$$

По удельной теплоте сгорания ТБО можно судить о целесообразности переработки их сжиганием.

При выборе метода переработки ТБО методом аэробного компостирования необходимо предварительно оценить прогнозируемые агрохимические показатели получаемого компоста, для чего все фракции ТБО условно подразделяют на три группы:

первая — фракции, биологически легко разлагаемые и легко перерабатываемые механически в процессе биотермического обезвреживания: пищевые отходы, бумага, отсев;

вторая — органические части, не подвергающиеся изменению в процессе ускоренного обезвреживания, которые в процессе дозревания компоста или при внесении его в почву будут разлагаться: дерево, текстиль, кости;

третья — балластные составляющие, не подвергающиеся разложению под воздействием микроорганизмов и, как правило, не попадающие в компост при аэробном биотермическом компостировании и последующей сепарации: металл, стекло, камни, пластмасса.

Агрохимические показатели определяют в компонентах первых двух групп, а влажность — в компонентах всех групп (табл. 3.2).

### 3.2. Усредненные агрохимические показатели компонентов ТБО, % на сухое вещество

Компонент ТБО	$N_{общ}$	$P_2O_5$	$K_2O_5$	CaO
Пищевые отходы	2,4	0,58	2,1	3,0
Бумага, картон	0,4	0,28	0,15	0,9
Дерево, садовые отходы	0,2	0,15	0,2	0,8
Кости	4,0	15,0	0,5	40,0
Текстиль	1,0	0,2	0,1	0,2
Отсев менее 16 мм	0,7	0,6	0,3	6,5

Зная морфологический состав ТБО и влажность его компонентов, можно прогнозировать агрохимические показатели получаемого компоста.

При проектировании установок для прессования отходов или послойного их уплотнения на полигонах необходимо знать степень их уплотняемости в зависимости от создаваемого давления. Ориентировочное рабочее давление, создаваемое установками при различных способах уплотнения ТБО, приведено в таблице 3.3.

### 3.3. Степень уплотнения ТБО при различных способах их прессования (уплотнения) в зависимости от давления, создаваемого установками

Способ прессования	Давление, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	Степень уплотнения, раз
<i>При сборе</i>		
Уплотнение сухих отходов в учреждениях или торговых предприятиях	0,1...0,2 (1...2)	3...6
<i>При транспортировании</i>		
Уплотнение в мусоровозе при сборе	0,02...0,1 (0,2...1)	1,5...3
Прессование при перегрузке в контейнеры	0,03...0,06 (0,3...0,6)	
<i>При переработке и захоронении</i>		
Прессование на специальных прессах с последующим захоронением на полигонах	5...30 (50...300)	8...10
Послойное уплотнение отходов при захоронении на полигонах	0,1 (1)	3...4

В зависимости от давления свойства ТБО меняются. Так, при повышении давления, передаваемого на отходы, до 0,3...0,5 МПа (3...5 кг/см<sup>2</sup>) разламываются различные виды упаковок и емкостей. При этом в зависимости от состава и влажности объем отходов уменьшается в 5...8 раз, а плотность возрастает до 0,8...1 т/м<sup>3</sup>. В пределах указанных давлений работают прессовые установки, используемые при сборе и удалении отходов.

В 1996 г. в Москве построена мусороперегрузочная станция (МПС), состоящая из одноэтажного производственного корпуса с двухэтажным административно-бытовым зданием; открытой эстакады длиной 60 м с разгрузочной площадкой для мусоровозов; корпуса ремонтного цеха; проходной, оборудованной автомобильными весами грузоподъемностью 30 т; закрытой стоянки для мусоровозов с административно-бытовым корпусом; закрытой автостоянки для автопоездов; механизированной мойки для грузовых автомобилей, оборудованной очистными сооружениями.

В производственном корпусе располагают технологическое оборудование по переработке мусора, включающее приемное отделение, транспортирующие узлы и прессовое оборудование.

Станция работает следующим образом. Твердые бытовые отходы на МПС доставляют мусоровозы грузоподъемностью 3...9 т. На проходной их взвешивают и затем направляют по эстакаде в приемное отделение, где их разгружают в приемный бункер, из которого по системе ленточных транспортеров ТБО подают в прессовое оборудование. На станции размещены три технологические линии испанской фирмы «Имабе Иберика», на каждой из которых установлен пресс Н-240/5000 производительностью до 50 т/ч.

Как показала практика, при повышении давления, передаваемого на отходы, до 10...20 МПа (100...200 кг/см<sup>2</sup>) интенсивно выделяется влага (80...90 % всей содержащейся в отходах жидкости). Объем ТБО при этом уменьшается еще в 2...2,5 раза и достигает плотности 1,2...1,5 т/м<sup>3</sup>. Спрессованный до такого состояния материал на некоторое время стабилизируется, так как оставшейся в материале влаги и ограниченного доступа кислорода недостаточно для активной жизнедеятельности микроорганизмов. Тюки спрессованного мусора прошивают стальной проволокой диаметром 4 мм, что придает дополнительную прочность. Спрессованные тюки с МПС вывозят автопоездами.

При повышении давления от 20 кПа (200 кг/см<sup>2</sup>) до 60 кПа (600 кг/см<sup>2</sup>) уменьшение объема ТБО незначительно, и плотность далее практически не изменяется.

### **3.3. ОСОБЕННОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ НА СВАЛКАХ И ПОЛИГОНАХ**

Прогнозы по обезвреживанию ТБО показывают, что, несмотря на достаточно высокие темпы прироста мощностей промышленных установок по переработке отходов, количество ТБО, складываемых на свалках и полигонах, тем не менее к 2010 г. составит около 65 %.

Мощность полигонов увеличивают в основном за счет повышения удельной нагрузки на единицу их площади, максимально используя участки, отведенные под складирование отходов (увеличивая степень уплотнения ТБО и высоту их складирования). Использование современных катков-уплотнителей типа КМ-305 или «Тана-Юмбо» позволяет уплотнить ТБО на полигонах до 0,8 т/м<sup>3</sup>. При этом высота складываемых ТБО на ряде зарубежных полигонов возрастает до 60 м, что в 5...6 раз увеличивает их вместимость.

При проектировании полигонов для складирования ТБО основной являются интересы охраны окружающей среды (атмосферный воздух, почва, поверхностные и грунтовые воды).

На отечественных и зарубежных полигонах в целях охраны атмосферного воздуха уплотненный слой ТБО изолируют, засыпая грунтом (строительными или инертными промышленными отходами) толщиной 15...25 см. Верхний изолирующий слой не допускает возникновения пожаров.

Площадки для разгрузки мусоровозов огораживают сеткой высотой 3...4 м, чтобы легкие фракции ТБО (пленка, бумага) не попадали на участки земель, прилегающих к полигонам. Наружная изоляция ТБО и уплотнение их тяжелыми катками до  $0,8 \text{ т/м}^3$  делают ТБО непривлекательными для мух и грызунов.

На полигонах (свалках), где отходы ссыпают бульдозером непосредственно «под откос», с образованием наружного откоса, заложением  $m = 2$  без последующего послойного уплотнения ТБО возможно образование трещин с обнажением глубоких слоев отходов.

Эти явления исключаются при уплотнении отходов более чем в 3 раза и устройстве наружных откосов с заложением не менее  $m = 4$ . На участках с ярко выраженным рельефом (крутые склоны, овраги) отходы складировать по наклонной схеме. В этом случае наибольшее внимание уделяют обеспечению устойчивости массы складированных отходов.

Ливневые и талые воды с вышерасположенных массивов земель перехватываются нагорным каналом и отводятся за пределы полигона. Предусматривают также специальные инженерные решения по увеличению сцепления складированного материала с естественным основанием.

По отношению к вмещающим породам и окружающим почвам свалка является техногенной геохимической аномалией. В свалочном грунте накапливаются микроэлементы (серебро, вольфрам, молибден, никель, медь, свинец и некоторые другие элементы).

Грунты свалок обладают аномальными геофизическими характеристиками (удельное электрическое сопротивление изменяется от  $0,2 \text{ Ом} \cdot \text{м/м}^3$  в водонасыщенном состоянии до  $20 \text{ Ом} \cdot \text{м/м}^3$  при естественной влажности) и аномальными инженерно-геологическими показателями (средняя плотность  $0,6...0,8 \text{ т/м}^3$ , пористость  $60...70 \%$ , влажность  $20...60 \%$ ), а также неоднородными фильтрационными свойствами ( $K_f = 0,1...1,5 \text{ м/сут}$ ) и плохой водоотдачей.

В толще свалки формируется техногенный водоносный горизонт. Как правило, уровни техногенного горизонта заметно превышают уровни нижележащих водоносных горизонтов, что связано с наличием в подошве свалки слабопроницаемого слоя, образовавшегося вследствие скопления тонкодисперсных фракций грунтов, и значительным инфильтрационным питанием по площади свалки. Инфильтрационное питание — основа баланса техногенного горизонта, достигающая  $60 \%$  суммы атмосферных осадков.

Инфильтрация — ведущий фактор, влияющий на интенсивность протекания физико-биологических процессов в толще свалки и определяющий количество образующегося фильтрата и биогаза. Фильтрат и биогаз образуются в анаэробной зоне свалки, мощность которой может достигать 10 м и более за счет протекания процессов деполимеризации, сбраживания, гумификации органического вещества, сульфатредукции и других процессов. В итоге по-

лучается уникальный по своей токсичности раствор с минерализацией до нескольких десятков грамм на 1 л, содержанием ионов аммония и хлора, других макрокомпонентов до нескольких грамм на 1 л, высокими концентрациями тяжелых металлов (цинк, свинец, никель, хром, кадмий и др.).

Основные органические соединения фильтрата — это соединения смешанных рядов, ароматические, ациклические карбонильные соединения всех классов опасности. Концентрация взвешенных органических веществ ( $C_{орг}$ ) в фильтрате достигает 5 г, а химическая потребность в кислороде (ХПК) — 6 г  $O_2$  на 1 л. Усредненные характеристики вод, просачивающихся из хранилищ (свалок) городского бытового мусора (через 6...8 лет после закладки на хранение), приведены в таблице 3.4.

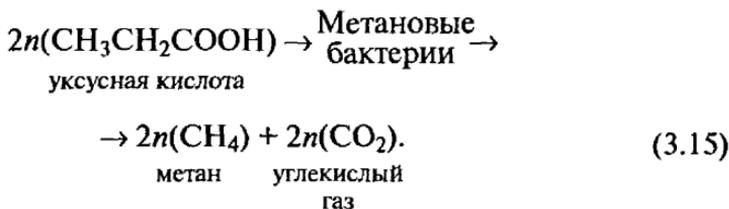
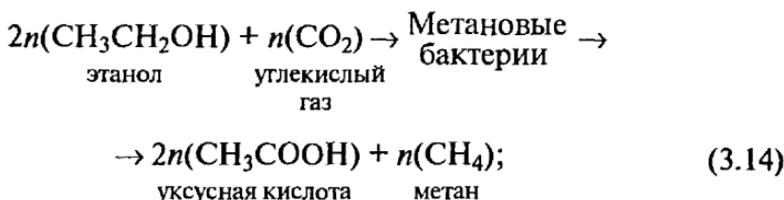
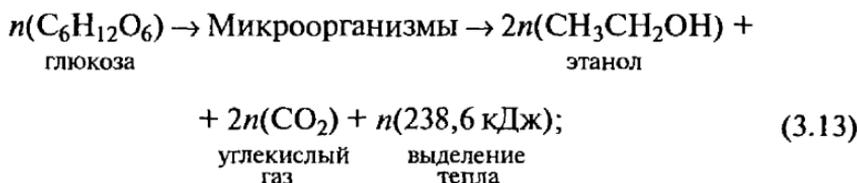
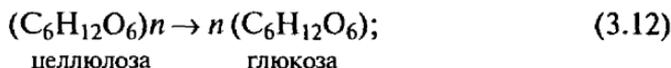
**3.4. Усредненные характеристики просачивающихся вод (фильтрата) свалок и полигонов захоронения промышленных и бытовых отходов**

Показатель	Число объектов	Среднеарифметическое значение	Диапазон значений
Объем фильтрата, просачивающегося за год, м <sup>3</sup> /га	21	3200	0,1...18636
pH	35	7,6	5,9...11,6
ХПК, мг $O_2$ /л	35	2320	50...35000
БПК <sub>5</sub> , мг $O_2$ /л	26	795	41...15000
Электропроводность, мкСм/см	37	12200	2110...183000
Хлориды, мг/л	34	1678	36...125300
Сульфаты, мг/л	32	1266	18...14968
Аммиак, мг/л	33	236	5...6036
Нитриты, мг/л	25	0,1	0,02...131
Нитраты, мг/л	25	7,7	0,1...14775
Азот общий, мг/л	14	104	1...2892
Фосфор общий, мг/л	15	2,9	0,03...52
Фториды, мг/л	11	6	0,1...50
Цианиды, мг/л	16	0,2	0,007...15
Легковосвобождаемые цианиды, мг/л	15	0,03	0,0008...1
Мышьяк, мкг/л	21	34	2...240
Свинец, мкг/л	23	68	4,3...650
Кадмий, мкг/л	26	11,5	0,2...2000
Медь, мкг/л	25	58	1,3...8000
Никель, мкг/л	23	388	14,2...30000
Ртуть, мкг/л	25	2	0,17...50
Цинк, мкг/л	27	510	20...27242
Хром общий, мг/л	23	0,2	0,009...300
Железо, мг/л	21	34	0,38...2700
Фенол, мг/л	22	5,2	0,01...350
Углеводороды, мг/л	16	1,1	0,1...424
Галогенсодержащие органические соединения, мкг/л	12	6600	44...292000
Дихлорметан, мкг/л	5	2700	150...36500
Трихлорметан, мкг/л	6	130	1...710
Тетрахлорметан, мкг/л	3	—	0,6...30
1,2-дихлорэтан, мкг/л	4	215	4...290

Показатель	Число объектов	Среднеарифметическое значение	Диапазон значений
1,1,1-трихлорэтан, мкг/л	2	—	0,4...1000
1,1,2-трихлорэтан, мкг/л	2	—	0,4...1000
1,1,1,2-тетрахлорэтан, мкг/л	3	—	0,01...775
Трихлорэтилен, мкг/л	3	—	0,01...775
Перхлорэтилен, мкг/л	3	—	1...7430

Биогаз образуется в результате жизнедеятельности метанобразующих бактерий и сопровождается выделением теплоты, поддерживающей в толще отходов сравнительно невысокую (30...40 °С) температуру. В результате внутреннего разогрева отходов увеличивается проницаемость подстилающих свалку глинистых пород.

Биохимические процессы, протекающие в толще свалки в анаэробных условиях, можно представить следующим образом:



Суммарную биохимическую реакцию разложения целлюлозы можно представить в таком виде:



целлюлоза

углекислый  
газ



метан

выделение  
тепла

Как видно из суммарной биохимической реакции, протекающей в анаэробных условиях, 50 % углерода целлюлозы окисляется до углекислого газа, а 50 % — восстанавливается до метана, выделяя 238,6 кДж на 1 моль глюкозы. При этом этиловый спирт превращается в уксусную кислоту и углекислый газ, а уксусная кислота — в углекислый газ и метан главным образом под влиянием жизнедеятельности соответствующих бактерий. Вследствие этого разложение целлюлозы в анаэробных условиях протекает сравнительно медленно. Поэтому при захоронении отходов на свалках и полигонах отмечаются высокая концентрация метана или биогаза и непрекращающееся оседание анаэробной зоны грунта свалки.

Согласно данным таблицы 3.5, биогаз, образующийся в толще свалки, содержит компоненты, вредные для здоровья человека. При максимальном содержании их в биогазе, значительно превышающем ПДК, в атмосферном воздухе: метан — в 8500 раз, нонан — в 4, циклогексан — в 8, пропан — в 3, этан — в 10, бутан — в 7, бензол — в 4, метилбензол — в 1025, ксилол — в 35, кумол — в 2285, хлороформ — в 66, хлорэтан — в 1320, дихлорэтан — в 98, тетрахлорэтан — в 2367, сероводород — в 25 тыс. раз. Кроме того, присутствующие в биогазе аммиак и сероводород, оксид углерода и гексан, циклогексан и бензол, этилен, пропилен могут действовать одновременно.

### 3.5. Возможный состав биогаза свалок и полигонов захоронения отходов производства и потребления

Химическая группа	Соединение	Суммарная химическая формула	Содержание в биогазе, мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Алканы	Метан	CH <sub>4</sub>	44...66	100	25	4
	Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,8...48,0	100	25	4
	Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,4...13,0	100	25	4
	Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,03...23,0	200	—	4
	Пентан ( <i>n</i> -пентан)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0...12	100	25	4
	Гексан ( <i>n</i> -гексан)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	3...18	60	—	4
	Гептан ( <i>n</i> -гептан)	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	3...8	100	25	4
	Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,05...75,0	100	25	4
	Нонан ( <i>n</i> -нонан)	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0,05...400,0	100	25	4
	Декан (изодекан, <i>n</i> -декан)	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0,2...137,0	100	25	4
	Ундекан	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	7...48	—	—	—
	Додекан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	2...4	1	—	4
	Тридекан	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	0,2...1,0	1	—	4
	2-метилпентан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,02...1,5	—	—	—

Химическая группа	Соединение	Суммарная химическая формула	Содержание в биогазе, мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
	3-метилпентан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,02...1,5	—	—	—
	2-метилгексан	C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	0,04...16,0	—	—	—
	3-метилгексан	C <sub>6</sub> H <sub>20</sub>	0,04...13,0	—	—	—
	2-метилгептан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,05...2,50	—	—	—
	3-метилгептан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,05...2,50	—	—	—
Циклоалканы	Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0,03...11,0	1,40	1,4	4
Алкены	Этен (этилен)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,7...31,0	3	3	3
	Пропен (пропилен)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,04...10,0	3	3	3
	Бутен (бутелен)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	1...1	3	3	4
Циклоалкены	Циклогексен	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	—	—	—	—
Ароматические углеводороды	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,03...7,0	1,50	0,10	2
	Метилбензол (толуол)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0,2...615,0	0,60	0,60	3
	Этиленбензол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0,5...236,0	0,02	0,02	3
	Диметилбензол (оксилон)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0,2...7,0	0,20	0,20	3
	Изопропилбензол (кумом)	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	0...32	0,014	0,014	4
	Метилбензол	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	10...25	—	—	—
Галогенированные углеводороды	Дихлорметан (фреон-30)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0...6	8,80	—	4
	Трихлорметан (хлороформ, фреон-20)	CHCl <sub>3</sub>	0...2	—	0,03	2
	Тетрахлорметан (четырехлористый углерод)	CCl <sub>4</sub>	0...0,6	4	0,70	2
	Хлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	0...264	—	0,20	4
	Дихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0...294	3	1	2
	Трихлорэтан	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	0...182	—	—	—
	Трихлорэтан (метилхлороформ)	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	0,5...4,0	2	0,20	4
	Тетрахлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0,1...142,0	0,60	—	4
	Трихлорэтилен	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	0...0,10	4	1	3
	Хлордифторметан	CClF <sub>2</sub>	5...10	—	—	—
	Хлордифторметан	CClF <sub>3</sub>	0...10	—	—	—
	Дихлордифторметан (фреон-12)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4...119	100	10	4
	Трихлорфторметан (фреон-11)	CCl <sub>3</sub> F	1...84	100	10	4
Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	0...0,20	0,10	0,10	3	
Суммарное содержание слора	Cl <sub>2</sub>		25...40	0,10	0,03	2

Химическая группа	Соединение	Суммарная химическая формула	Содержание в биогазе, мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Неорганические вещества	Оксид углерода	CO	0...0,3 %	3,0	3,0	4
	Аммиак	NH <sub>3</sub>	0...0,1 %	0,20	0,04	4
	Сероводород	H <sub>2</sub> S	200	0,008	—	2

Очевидно, что биогаз подобного состава, содержащий перечисленные примеси, представляет опасность для живых организмов.

В процессе эмиссии из толщи свалки на поверхность биогаз вытесняет воздух, присутствующий в верхних слоях отходов и в укрывающей их почве. В результате этого у большинства растений, растущих на поверхности свалки, особенно культурных, задерживается рост и они могут даже погибнуть из-за снижения количества кислорода в корнеобитаемом слое.

Биогаз, проникая в подвалы, шахты, колодцы и т. д., вытесняет имевшийся там воздух, создавая опасность взрыва. Неоднократно отмечались взрывы на свалках, причиной которых был содержащийся в биогазе метан (Россия, ФРГ).

Подземные воды на участках размещения свалок загрязняются в результате снижения их окислительно-восстановительного потенциала за счет проникновения в подземные горизонты вместе с фильтратом неокисленных органических веществ. Последние, потребляя кислород подземных вод на свое окисление и различные химические трансформации, формируют околонейтральные бескислородные бессульфидные воды.

Вещества, загрязняющие подземные воды, характеризуются присутствием в них неорганических компонентов, в концентрациях, превышающих ПДК и относящихся к различным классам опасности. Кроме того, в подземных водах в высоких концентрациях присутствуют неокисленные органические вещества всех классов опасности. Например, в результате миграции загрязняющих веществ происходит загрязнение горных пород основания свалки и грунтовых вод. Поверхностные воды, стекающие со свалки, также несут загрязняющие вещества и при движении их по прилегающим территориям загрязняют почвы, а попадая в открытые водные объекты, ухудшают качество воды и способствуют накоплению загрязняющих веществ в донных отложениях.

Интенсивность накопления загрязняющих веществ в разных средах неодинаковая и изменяется так: горные породы — почвы — донные отложения. Накопление загрязняющих веществ в этих средах тесно взаимосвязано и увеличивается со временем. Характеризуется оно суммарным показателем загрязнения:

$$Z_c = C_1/C_{\phi 1} + \dots + C_n/C_{\phi n}, \quad (3.17)$$

где  $C_1, \dots, C_n$  — концентрация присутствующих загрязняющих элементов;  
 $C_{\phi 1}, \dots, C_{\phi n}$  — концентрация фоновых элементов.

На степень загрязнения окружающей среды влияют концентрация загрязняющих веществ и продолжительность эксплуатации свалки. Наиболее отрицательно на окружающую среду влияет свалка после 3...4 лет от начала эксплуатации и в первые 15...20 лет после ее закрытия (табл. 3.5).

Кроме того, в результате захоронения ТБО на свалках безвозвратно теряется огромная масса ценных веществ и компонентов, содержащихся в них, в том числе солей азота, фосфора, калия и кальция, являющихся основой органических и минеральных удобрений.

Например, в 1988 г. в б. СССР на свалках и полигонах безвозвратно потеряно до 11 млн т пищевых отходов, 1,1 млн т лома черных металлов, 0,2 млн т цветных металлов, стекла, пластмассы и других компонентов, которые можно было бы использовать в качестве вторичных ресурсов в разных отраслях народного хозяйства.

С целью уменьшения негативных воздействий свалок на окружающую среду (табл. 3.6) необходимо проводить природоохранные мероприятия.

3.6. Этапы воздействия свалок на окружающую среду

Этап	Состояние свалки	Временной интервал	Загрязнение подземных вод		Загрязнение донных отложений, почв и горных пород, ПДК	Влияние биогаза на атмосферу
			Ореол	Уровень		
1	Период эксплуатации	Первые годы до 3 лет	Начало формирования	Менее ПДК	Менее 1 » 30 » 100	Начальное
2		После 3...4 лет	Продолжение формирования	Более ПДК	10... $n$ *10 30... $n$ *100 100... $n$ *1000	Интенсивное
3	После закрытия	Через 15...20 лет после закрытия	Некоторое сокращение	То же		То же
4		Свыше 15...20 лет после закрытия	Постепенное сокращение	Не более ПДК	$n$ *10 $n$ *100 $n$ *1000	Потенциально сохраняется

\* $n = 1, 2, \dots, n$ .

### 3.4. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

Термические методы переработки и утилизации ТБО разделяют на три способа:

слоевое сжигание неподготовленных отходов в мусоросжигательных установках;

слоевое и камерное сжигание специально подготовленных отходов в виде гранулированного топлива (освобожденного от балластных составляющих и имеющего постоянный фракционный состав) в топках энергетических котлов или цементных печах;

пиролиз отходов, прошедших предварительную подготовку или без нее.

Все термические методы переработки и утилизации отходов помимо их обезвреживания направлены на получение энергии, а также твердого, жидкого или газообразного топлива при их пиролизе.

#### 3.4.1. СЖИГАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НЕ ПОДГОТОВЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Метод слоевого сжигания неподготовленных отходов в мусоросжигательных установках наиболее распространен и изучен. В этом случае помимо выполнения санитарно-гигиенических мероприятий можно получить тепловую или электрическую энергию, сократить до минимума расстояние между местом сбора отходов и мусоросжигательным заводом (МСЗ), значительно экономить земельные площади.

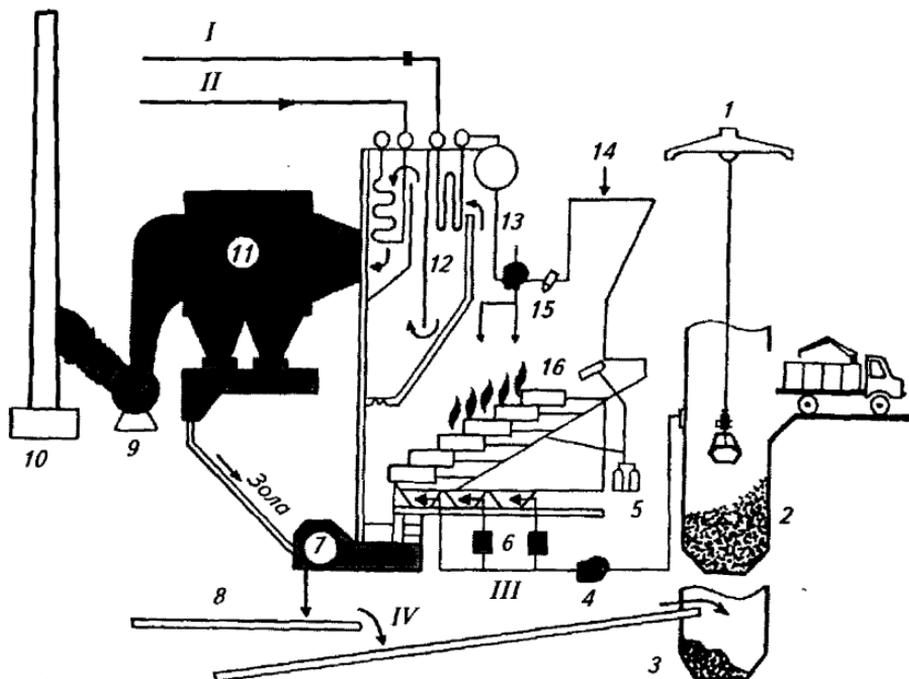
Однако при сжигании отходов выделяются твердые и газообразные отравляющие вещества, поэтому все современные МСЗ должны быть оборудованы высокоэффективными газоочистными устройствами, стоимость которых достигает 50 % общих капиталовложений на строительство МСЗ.

В России построено восемь МСЗ (три в Москве, по одному во Владимире, Владивостоке, Сочи, Мурманске, Пятигорске) и три — на Украине (Харькове, Киеве, Севастополе).

Технологическая схема одного из московских мусоросжигательных заводов, построенного в 70-х годах, показана на рисунке 3.1.

На МСЗ сжигают доставляемый на него мусор без какой бы то ни было предварительной подготовки или обработки.

При поступлении на завод мусоровозы взвешивают на платформенных автоматических весах. Затем по эстакаде мусоровозы поступают для разгрузки в приемное помещение, оборудованное в виде холла с воротами. Несколько пунктов разгрузки предусматривают гравитационную выгрузку одновременно нескольких мусоровозов в бункер-накопитель. Мусор из бункера-накопителя частями забирает мостовой кран, оборудованный грейферным ковшом типа «Полип» вместимостью 5 м<sup>3</sup> с гидроэлектрической системой управления. В приемном отделении поддерживается некоторое разря-



**Рис. 3.1.** Технологическая схема переработки отходов на мусоросжигательных заводах:

1 — мостовой грейферный кран; 2 и 3 — мусорный и шлаковый отсеки бункера-накопителя; 4 — вентилятор первичного дутьевого воздуха; 5 — станция гидропривода; 6 — паровые калориферы-воздухоподогреватели; 7 — шлакоизвлекатель; 8 — ленточные транспортеры для удаления шлака и золы; 9 — дымосос; 10 — дымовая труба; 11 — электростатический фильтр; 12 — котел-утилизатор; 13 — вентилятор вторичного воздуха; 14 — загрузочный бункер; 15 — растопочная горелка; 16 — колосниковая решетка; I — пар; II — вода; III — воздух; IV — шлак

жение воздуха за счет забора из него дутьевого воздуха для поддержания процесса горения ТБО в котлоагрегатах, что предотвращает выброс неприятных запахов и пыли за пределы отделения. Мусор из приемного бункера подают в загрузочный желоб питателя печи котлоагрегата до определенной высоты. Емкость желоба образует буферный резерв питания печи. Образующая таким образом колонна мусора обеспечивает герметичность между камерой горения и загрузочным бункером. Нижняя часть желоба защищена водяной рубашкой от перегрева в случае подъема пламени. Питатель распределяет мусор по колосниковой решетке, на которой сжигают мусор. Она является основным элементом печи.

Имеется несколько видов колосниковых решеток. Наибольшее применение получило топочное устройство, оборудованное обратнo переталкивающей колосниковой решеткой системы «МАРТИН» (Германия), шириной 3 м и наклоненной под углом 26° к горизонтальной плоскости. По ширине решетка имеет одну или не-

сколько секций, каждая из которых состоит из 13 рядов чередующихся подвижных и неподвижных колосников. Схема устройства колосниковой решетки и распределение зон горения мусора на ней показаны на рисунке 3.2.

Каждый второй колосник приводится в возвратно-поступательное движение общим устройством управления. Амплитуда возвратно-поступательного движения в направлении решетки снизу вверх составляет около 400 мм, а число циклов может плавно изменяться от 0 до 60 в 1 ч.

Перемещение колосников решетки существенно влияет на процесс сжигания слоя мусора, который при каждом цикле медленно перемещается и раскладывается по поверхности. Часть горячей массы перемещается ко входу решетки, давая запал для вновь поступающей массы мусора. Таким образом, уже в начале решетки образуется интенсивное пламя, при котором все стадии сжигания — сушка, возгорание и сжигание — происходят одновременно.

Благодаря наличию сильного пламени в начале решетки газы, выделяющиеся на стадии сушки, смешиваются с очень горячими газами горения и сжигания.

Мусор, сжигаемый на решетке, постепенно перемещается вниз, постоянно перемешиваясь. Сжигание мусора завершается приблизительно на 2/3 длины решетки, а на оставшейся части мусор, превратившийся в шлак, постепенно охлаждается под действием подаваемого в топку воздуха.

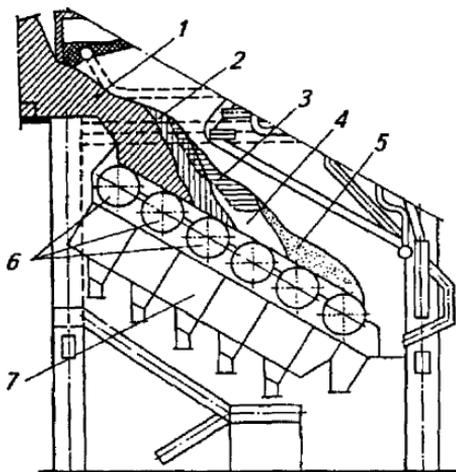
В горящем слое на решетке системы «МАРТИН» не образуется «кратеров», что обеспечивает почти полное сгорание отходов.

Конструкция колосниковой решетки позволяет сжигать отходы с различной теплотой сгорания (3,5...10,5 МДж/кг) и большим (до 50 %) содержанием золы при высокой [более 400 кг/(м<sup>2</sup> · ч)] удельной производительности. Площадь колосниковой решетки каждого агрегата 20 м<sup>2</sup>, номинальная производительность 8,33 т/ч при теп-

лоте сгорания ТБО 6,3 МДж/кг. Гарантийный срок работы колосниковой решетки около 30 тыс. ч. Температура в топочном пространстве регулируется автоматически и составляет 800...1000 °С, что обеспечивает выгорание твердых и газообразных горючих составляющих отходов.

**Рис. 3.2.** Схема процесса горения в топке мусоросжигательного котла:

1 — исходный мусор; 2, 3, 4, 5 — зоны соответственно выхода летучих продуктов, газификации, горения кокса и образования шлака; 6 — колосниковые валки; 7 — подрешеточный бункер для сбора золы и просоров



Для обеспечения требуемого качества сжигания, т. е. для получения хорошо перегоревшего шлака, необходимо удалять его одновременно. Шлак составляет около 25 % по массе (4...5 т/ч) от общего количества сжигаемых отходов.

Для этого колосниковую решетку оснащают барабаном удаления шлака с регулируемой скоростью вращения, что позволяет и сглаживать толщину слоя мусора и шлака на решетке, а также удалять шлак в бункер шлакового экстрактора.

Горячий шлак падает в бункер, а затем в бак с водой, в котором охлаждается до 80...90 °С. Из бака шлак удаляется толкателем, который проталкивает его в желоб, установленный с обратным уклоном. Конструкция желоба позволяет, с одной стороны, уплотнять удаляемый материал без риска закупорки рабочего сечения желоба, а с другой — стекать избыточной влаги. Таким образом, потери воды на гашение сводятся к минимуму, т. е. на испарение и на поглощение ее шлаком.

Далее охлажденный шлак по системе ленточных транспортеров проходит через виброполотно, с которого из шлака удаляют металлические частицы, для чего над ленточным транспортером устанавливают магнитный сепаратор, оборудованный мощным электромагнитом. Куски металла удаляют в специальные емкости, а освобожденный от металла шлак поступает по ленте в шлаковый отсек бункера-накопителя. Зола из-под воздушного короба и из бункеров котла удаляется вместе со шлаком.

Для обеспечения процесса горения отходов подают воздух, нагнетаемый вентилятором первичного дутья через короб, установленный под решеткой и состоящий из нескольких отсеков или зон. Каждая зона подачи воздуха под решетку обеспечивает выпуск определенного количества воздуха под решетку и в слой мусора для обеспечения горения; сбор и удаление мелких частиц, просеивающихся под решетку.

В нижней части в подрешеточной зоне установлены воронки асимметричной формы, которые предназначены для сбора и удаления просева.

Дополнительно воздух подается вентилятором вторичного дутья под высоким давлением через сопла, расположенные на передней и задней стенках камеры горения, для завершения окисления и полного сжигания газов в нижней части камеры сжигания.

Рассмотренная технология слоевого сжигания отходов направлена на санитарно-гигиеническое (огневое) обезвреживание ТБО с получением тепловой энергии, которую утилизируют через котел, установленный над колосниковой решеткой.

Возможно различное использование энергии: городское отопление; пар для промышленных установок; выработка электроэнергии для собственных нужд или для сбыта в единую систему, а также их сочетание, например городское отопление плюс производство электроэнергии.

Выбору технологии обезвреживания и переработки ТБО методом сжигания предшествует детальное технико-экономическое обоснование схемы сбыта получаемой тепловой энергии, так как строительство МСЗ требует больших капиталовложений. Следует отметить, что строительство современных ТЭЦ (котельных) равноценной мощности (по производимой энергии) в 8...10 раз дешевле.

Оптимальная схема сбыта вырабатываемой энергии — на нужды централизованного теплоснабжения. В этом случае пар, вырабатываемый МСЗ, можно использовать для подогрева сетевой воды в специальном дополнительном подогревателе, установленном после основных подогревателей. В теплое время года пар от МСЗ частично вытесняет пар теплофикационных отборов, а в холодное время года, когда нагрузка районов превышает мощность теплофикационных отборов, восполняет часть пиковой нагрузки. Возможно также параллельное (по воде) включение тепловых магистралей ТЭЦ и МСЗ, когда подогреватели komponуют на МСЗ. В этом случае температурные графики ТЭЦ и завода совпадают. По другим схемам подогреватель МСЗ включен последовательно с основными и пиковыми подогревателями ТЭЦ, что применимо в условиях, когда МСЗ расположен вблизи транзитной магистрали ТЭЦ. Наиболее простая схема включения тепловых сетей МСЗ — установка подогревателя последовательно на обратной линии теплосети ТЭЦ.

Во всех рассмотренных схемах потребители отопления присоединены по наиболее распространенной зависимой схеме. При независимом присоединении отопительной нагрузки или наличии контрольно-распределительного пункта параллельная работа источников теплоснабжения, в том числе МСЗ, упрощается. Еще одно условие повышения степени использования получаемого при мусоросжигании тепла (в тех случаях, когда вблизи нет сетей ТЭЦ) — комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Такая схема внедряется на МСЗ № 2 в Москве после его реконструкции. Однако при таком решении утилизации тепловой энергии необходимо считаться с дополнительными капитальными затратами и эксплуатационными расходами на машинный зал, электрические сети, распределительные устройства и т. д. Кроме того, при этом котлы МСЗ должны обеспечивать пар с высокотемпературными параметрами, что может привести к интенсивной коррозии основного оборудования.

Одним из решений этой проблемы является создание турбогенераторов, работающих на низкотемпературном паре, тем более что подобные агрегаты необходимы и для других нетрадиционных источников энергии (геотермальной, солнечной и т. п.).

МСЗ проектируют и строят как обособленные предприятия, оснащенные всем необходимым оборудованием (химводоподготовкой, деаэрационной установкой, необходимыми подогревателями, питательными насосами и т. п.). На МСЗ предусматривают также склады, служебно-бытовые помещения и т. д.

Для снижения капитальных затрат рационально совмещать на одной площадке мусоросжигательную и промышленно-отопительную котельные. Поэтому целесообразно проектировать комбинированные котельные, имеющие как котлоагрегаты, сжигающие энергетическое топливо, так и котлоагрегаты, в топках которых сжигают ТБО.

Таким образом, ТБО можно рассматривать как нетрадиционные виды топлива.

Санитарно-гигиенические требования к чистоте атмосферного воздуха постоянно повышаются. Вместе с тем, как подтверждает зарубежная практика, установки по сжиганию ТБО могут служить источником загрязнения воздушной среды взвешенными частицами золы и недожога, а также вредными газообразными примесями. Поэтому при проектировании их особое внимание уделяют совершенствованию средств по снижению выбросов вредных примесей. Физико-химические свойства отходящих газов при сжигании ТБО зависят от морфологического и фракционного составов, теплоты сгорания отходов и т. д.

Эти показатели существенно меняются в зависимости от климатических условий района и сезона года. Влажность ТБО колеблется в пределах 52...58 % в зависимости от сезона года, а содержание влаги в дымовых газах меняется в пределах 95...119 г/м<sup>3</sup>.

Существует три вида выбросов из мусоросжигательных установок: газы, выходящие из дымовой трубы; сточные воды; летучая зола и шлак.

Наиболее вредными выбросами мусоросжигательных установок считают отходящие газы и летучую золу. Поскольку основной вредной составляющей дымовых газов являются содержащиеся в них взвешенные частицы и отравляющие вещества, то их концентрацию и принимают в качестве главного показателя санитарно-гигиенического аспекта работы таких сооружений.

В большинстве стран, широко применяющих сжигание как метод обезвреживания бытовых отходов, действуют или разрабатываются законопроекты, ограничивающие выброс сжигательными установками в атмосферу вредных веществ.

Наиболее жесткие нормы, ограничивающие выброс твердых газообразных веществ, введены в Германии — концентрация золы в дымовых газах сжигательных установок не должна превышать 100 мг/м<sup>3</sup> (при СО<sub>2</sub> — 7 %).

Зола, образующаяся при сжигании ТБО, состоит в основном из двух компонентов: минералов и несгоревших частиц органических соединений.

Содержание недожога в процентах определяется конструктивными особенностями топочного устройства, а также технологическими условиями процесса горения. Обычно оно не превышает 2 %, а при неблагоприятных условиях может достигнуть 15 %.

Концентрация золы в дымовых газах мусоросжигательных установок составляет примерно 2...5 г/м<sup>3</sup> сухого газа. При увеличении содержания бумаги в отходах, подвергающихся сжиганию, наблю-

дается более высокая концентрация золы в отходящих газах. Содержание в отходах различных твердых компонентов приводит к резкому снижению концентрации золы (до 0,5 г/м<sup>3</sup>).

От дисперсного состава золы зависит не только работа газоочистного оборудования, но и выбор средств очистки дымовых газов. Размер частиц золы уноса влияет на скорость осаждения, площадь удельной поверхности, их смачиваемость и т. д. Распределение взвешенных частиц золы уноса в зависимости от размера частиц следующее, %: менее 5 мкм — 9...22; 5...10 мкм — 10...16; 10...20 мкм — 13...15; 20...30 мкм — 6...14; более 30 мкм — 31...54. Значительные колебания процентного содержания частиц в каждой фракции объясняются непостоянством состава ТБО.

При выборе газоочистных устройств следует учитывать, что труднее всего улавливаются частицы размером менее 5 мкм, масса которых может достигать 22...25 % общей массы твердых примесей, содержащихся в очищаемых газах.

Выбор газоочистных устройств зависит от объема очищаемых газов, их запыленности, желаемой степени очистки (КПД улавливания), физических параметров газового потока (скорости, температуры, влажности, агрессивности), физико-химических свойств взвешенных частиц (дисперсности, слипаемости, абразивности и т. д.).

Выбирают и оценивают работу газоочистительного оборудования в первую очередь по степени очистки уходящих газов и только во вторую — по ее стоимости.

Существует много разнообразного газоочистительного оборудования.

К группе *сухих гравитационных и инерционных золоуловителей* относят: пылесадочные камеры, жалюзийные золоуловители, циклоны, групповые мультициклоны, центробежный золоуловитель, а к группе *мокрых золоуловителей* — газопромыватели, в которых очищаемый газ пропускают через завесу разбрызгиваемой воды; мокрые аппараты ударно-инерционного типа, работающие по принципу инерционного осаждения частиц во время преодоления газом препятствия, смоченного жидкостью, или при резком изменении направления движения газового потока над поверхностью жидкости.

*Пористые золоуловители*, в частности тканевые и наполненные пористыми материалами, не получили широкого распространения, так как при относительно высокой температуре уходящих газов и высокой влажности поры быстро забиваются твердыми частицами, что приводит к большим трудовым затратам по их очистке либо к частой замене их.

К группе *электростатических фильтров* относят большое число аппаратов, отличающихся друг от друга только конструкцией коронирующих и осадительных электродов и потенциалом напряжения электрического поля, числом камер осаждения частиц, от которых зависят КПД улавливания и сепарации наиболее трудноосаждающихся частиц размером менее 5 мкм.

На крупных современных установках по сжиганию ТБО для улавливания твердых частиц, содержащихся в дымовых газах, применяют электростатические фильтраты, что позволяет улавливать (до 99,8 %) частицы практически любых размеров. Схемы электростатических фильтров показаны на рисунке 3.3.

Многоступенчатая система очистки газов показана на рисунке 3.4.

При выборе оборудования для полной очистки дымовых газов необходимо учитывать все газообразные загрязнители.

В связи с постоянным увеличением в составе отходов доли синтетических материалов в будущем вероятно резкое превышение ПДК вредных газообразных веществ в дымовых газах мусоросжигательных установок (хлористого и фтористого водорода, полициклических ароматических углеводородов).

Загрязняющие вещества воздуха образуются в результате неполного сгорания части отходов и из новых продуктов в процессе их горения. Продукты неполного сгорания включают оксиды углерода, амины, органические кислоты, полициклические ароматические соединения и т. д.

Частные выбросы могут содержать тяжелые металлы, которые при сжигании не разрушаются, и на их структуру не влияет неполное сгорание горючих веществ.

Конечными продуктами сгорания в большинстве случаев являются диоксид углерода и водяные пары. Другие продукты образуются в меньших количествах. Хлористый водород и небольшое количество хлора образуются в мусоросжигательных установках в процессе хлорирования углеводородов, фтористый водород — из органических фторидов, бромистый водород — из органических бромидов, оксиды серы, главным образом диоксид серы, — из имеющейся в отходах и дополнительном топливе серы, пятиокись фосфора — из фосфорорганических соединений, оксид азота — при

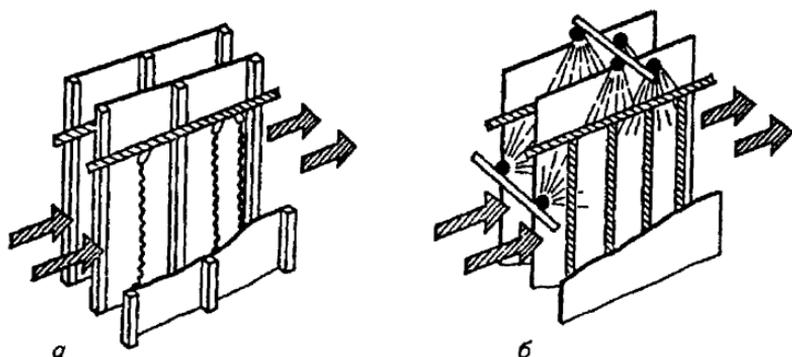
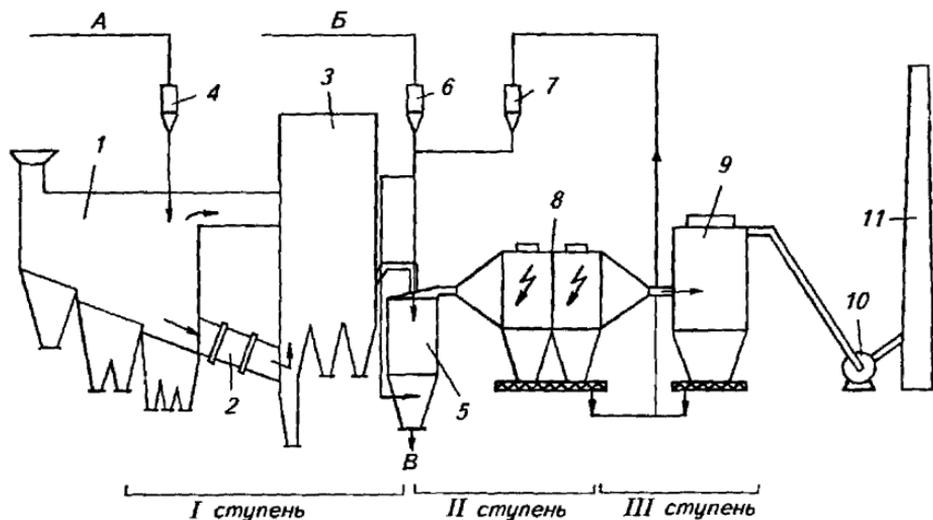


Рис. 3.3. Электрофильтры с плоскими электродами:

*a* — сухой; *b* — влажный



**Рис. 3.4.** Многоступенчатая система очистки газов мусоросжигательных печей:

1 — мусоросжигательная печь; 2 — вращающаяся печь дожигая; 3 — котел-утилизатор; 4 — узел подачи извести «пыленки» в зону горения отходов; 5 — сухой реактор; 6 — емкость для свежей извести; 7 — емкость для оборотной извести; 8 — электрофильтр; 9 — рукавный фильтр; 10 — дымосос; 11 — дымовая труба; А и В — соответственно известь «пыленка» и известь «пушенка» со склада; В — на захоронение

горении на воздухе из соединений азота, находящихся в материалах отходов.

Эти выбросы часто подразделяют на две категории: первая включает оксиды азота, соединения и оксиды серы; вторая — тяжелые металлы, соединения хлора: полихлордибензодиоксины и полихлордибензофураны, пары кислот.

Загрязняющие вещества, относящиеся ко второй категории, наиболее токсичны и опасны даже в малых количествах по сравнению с загрязнителями, относящимися к первой категории.

Тяжелые металлы присутствуют во многих компонентах отходов. Они не влияют на процесс горения и адсорбируются на шлаке или выделяются в виде примесей на летучей золе или выхлопных газах. Типичные металлы включают свинец, кадмий, мышьяк, ртуть, никель, ванадий и цинк. Количество выбросов зависит от содержания металлов, конструкции мусоросжигательной печи и технологических условий.

Даже при небольших концентрациях определенные тяжелые металлы могут наносить вред здоровью людей из-за высокой токсичности.

Полихлорированные дибензодиоксиды (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ) были открыты недавно как составляющие компоненты выбросов мусоросжигательных установок. Диоксиды — один из

наиболее токсичных соединений. Фураны — это группа элементов, родственных диоксидам, которые обладают подобными токсичными свойствами.

Впервые были обнаружены выбросы диоксинов на установке сжигания твердых отходов в г. Хамптоне, штат Вирджиния (США), что поставило под сомнение безопасность мусоросжигательных установок. ПХДД и ПХДФ образуются и распадаются в зоне горящего слоя на решетке или над горящим слоем в так называемой радиационной части котла. Для защиты окружающего воздуха от загрязнений дымовые газы очищают. Особенно высокие требования предъявляют к очистке газов на МСЗ, расположенных среди жилой застройки. При проектировании газоочистных установок необходимо знать физико-химические свойства летучей золы, состав дымовых газов, удельное электрическое сопротивление пыли и другие параметры. В процессе исследования выброса МСЗ установлено, что концентрация летучей золы в дымовых газах МСЗ зависит от способа сжигания, типа колосниковой решетки, формы топочного устройства и других факторов. На практике запыленность дымовых газов составляет 2...15 г/нм<sup>3</sup>, но при проектировании золоулавливающих аппаратов берут средние значения 5...10 г/нм<sup>3</sup>.

На существующих МСЗ в качестве золоочистительных устройств применяют четырехпольные электростатические и тканевые фильтры, обеспечивающие достаточно высокую (до 99 % и более) степень очистки дымовых газов от пыли, но не решают проблему очистки от диоксинов, фуранов и тяжелых металлов. Электростатические фильтры позволяют максимально автоматизировать процесс пылеулавливания и тем самым сократить расходы на обслуживающий персонал.

Как отмечено выше, дымовые газы, образующиеся при сжигании ТБО, содержат в себе следующие вредные вещества: пыль (летучая зола), тяжелые металлы, окислы серы (SO<sub>2</sub>), окислы азота (NO<sub>x</sub>), окислы углерода (CO), хлористый водород (HCl), фтористый водород (HF), диоксины и фураны.

В соответствии с рабочим проектом реконструкции и расширения Московского спецзавода № 2 очистка дымовых газов после мусоросжигательного котла предполагается по двухступенчатой схеме: абсорбере (реакторе) и рукавном фильтре.

Принцип очистки дымовых газов в абсорбере основан на нейтрализации кислых газов (SO<sub>2</sub>, HCl, HF) известковым молоком, распыляемым турбиной, и адсорбции тяжелых металлов на высушиваемых продуктах нейтрализации.

Реактор состоит из подводящего дымовые газы трубопровода, системы распределительных решеток; диффузора, оборудованного направляющими пластинами для создания вращательного движения дымовым газом, форсункой и турбиной, предназначенными для распыления известкового молока; трубопровода, отводящего дымовые газы из реактора к рукавному фильтру, системы шнекового золоудаления.

Из реактора дымовые газы поступают в импульсно-струйный рукавный фильтр, в котором улавливают летучую золу, пыль и продукты газоочистки, образующиеся в реакторе при контакте дымовых газов с известковым молоком. Пыль слоями оседает на войлочном рукавном фильтре, выполненном из тефлоновых волокон, очищая тем самым дымовые газы. Зола и пыль из-под бункеров фильтра удаляются системой шнековых и цепных транспортеров.

Во избежание налипания вредных отложений на рабочие поверхности необходимо предусматривать обогрев бункеров сбора продуктов газоочистки реакторов и рукавных фильтров, помещений шнековых и цепных конвейеров для поддержания в них температуры выше точки росы.

С целью отделения из дымовых газов диоксинов, фуранов и тяжелых металлов предусмотрена установка для подачи активированного угля в трубопровод, соединяющий мусоросжигательный котел с реактором, в котором абсорбируются на частицах активированного угля, а затем улавливаются в рукавных фильтрах.

Кроме того, предусмотрена система нейтрализации, основанная на методе высокотемпературной некатолитической очистки дымовых газов от окислов азота продуктами термического разложения карбамида (метод разработан в Государственной академии нефти и газа им. И. М. Губкина), обеспечивающего снижение их концентрации с 200 до 50 мг/нм<sup>3</sup>.

Принципиальная схема газоочистки Московского спецзавода № 2 после его реконструкции приведена на рисунке 3.5, а эффективность работы системы газоочистки дымовых газов с дополнительной нейтрализацией окислов азота — в таблице 3.7.

Очищенные дымовые газы удаляются в атмосферу через индивидуальные стволы общей дымовой трубы высотой 90 м.

При сжигании на МСЗ ТБО без предварительной их сортировки образуется шлака на 20 % и золы на 3 % больше по сравнению с сжиганием предварительно отсортированных отходов.

Разработана технология получения из образующихся шлаков строительных материалов (шлакоблоков), которая позволяет утилизировать их до 80 %, а оставшиеся 20 % использовать в качестве инертного материала, направляемого на полигоны захоронения ТБО для санитарной послойной изоляции отходов.

Золу, получаемую при очистке дымовых газов, обрабатывают и дезактивируют по процессу «SEALOSAFE», который предусматривает нейтрализацию золы кислотой и отверждение ее цементом с пуццолановым реактивом, после чего золу отправляют на полигоны захоронения промышленных отходов.

Для работы МСЗ необходимо снабжение их тепловой и электрической энергией, а также дополнительным энергетическим топливом, что должно быть предусмотрено еще на стадии проектирования и строительства. При этом максимальная мощность источни-

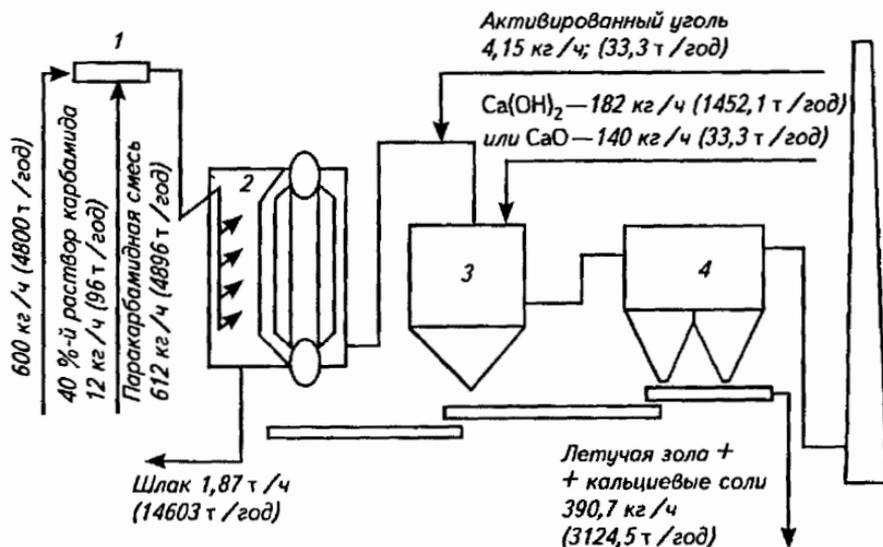


Рис. 3.5. Принципиальная схема газоочистки на Московском спецзаводе № 2 после его реконструкции:

1 — испаритель; 2 — котел; 3 — реактор; 4 — рукавный фильтр

### 3.7. Концентрация, мг/м<sup>3</sup>, вредных веществ в дымовых газах при очистке по методу, разработанному в Государственной академии нефти и газа им. И. М. Губкина

Вредное вещество	На выходе из топки котла	На выходе из котла после распыления паракарбамидной смеси	После реактора	После рукавного фильтра
Летучая зола	5000	5000	10000	10
Оксид углерода CO	50	50	50	50
Оксиды серы SO <sub>2</sub>	250	250	75	50
Оксиды азота NO <sub>x</sub>	200	50	50	50
Хлористый водород HCl	1000	1000	25	10
Фтористый водород HF	15	15	1	1
Диоксины + фураны	—	5	0,5	0,1
Тяжелые металлы:	—	—	—	—
Pb + Hg	—	—	—	0,05
Cd + Tl	—	—	—	0,05
As + Pb + Cr + Co + Cu + + Mn + Ni + V + Sn	—	—	—	0,5
Zn	—	—	—	0,5
Общее содержание углерода	—	—	—	10,0

ков энергии определяется по максимальной потребности завода во время будущей эксплуатации с учетом последующего расширения. Для сбора сточных вод необходимо подсоединение завода к сетям водостока и канализации.

Потребность МСЗ в воде (с использованием котлоагрегатов) определяется потерями конденсата с паром (1...7 %) в зависимости от паропроизводительности котлов. Потери сетевой воды принимают 1...2 % расхода тепловых сетей в сутки.

Расход воды на хозяйственные нужды принимают около 0,2 м<sup>3</sup> на 1 т сжигаемых отходов; на охлаждение шлака — 0,3...2 м<sup>3</sup> на 1 т сжигаемых отходов в зависимости от конструкции шлакоудалителя. При эксплуатации МСЗ должна быть предусмотрена система оборотного водоснабжения.

Потребность в электрической энергии для МСЗ составляет 20...45 кВт · ч на 1 т отходов при средней потребности 35 кВт · ч на 1 т (по отходам) и зависит от установленной мощности МСЗ, применяемых вспомогательных устройств (например, для дробления крупногабаритных отходов, обработки подлежащего использованию шлака и т. д.).

Для растопки МСЗ используют газ или жидкое топливо, которые необходимы также для поддержания достаточной для горения температуры, если теплота сгорания отходов ниже 5040 кДж/кг. В отдельных случаях энергетическое топливо используют для регулирования требуемой производительности пара котлов.

Площадь территории, отводимой под МСЗ, определяют из расчета 20...50 м<sup>2</sup> при работе в три смены и производительности 1 т/сут (меньшие значения принимают для установок производительностью более 500 т/сут, большие — 100...500 и менее 100 т/сут).

Оптимальные условия строительства заводов по сжиганию ТБО с утилизацией тепловой энергии: наличие гарантированных потребителей электрической или тепловой энергии в комплексе с подстраховывающей ТЭЦ или котельной, наличие шлакоотвала или потребителя шлака в качестве вторичного сырья не далее 10 км от завода и численности обслуживаемого населения не менее 350 тыс. чел.

В мире работают более 1000 мусоросжигательных заводов. Преимущества этого метода: сокращение до 10 раз объема отходов, стерилизация материала ( $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), возможная рекуперация получаемого тепла. Недостатки: вредные выбросы в атмосферу, уничтожение ценных компонентов, плохое качество выделяемого из шлака обгоревшего металлолома, достаточно высокий (30 % по массе) выход шлака, сложность и дороговизна импортного оборудования и дефицит запчастей, убыточность (высокие эксплуатационные затраты). Главный недостаток МСЗ — это выделение в атмосферу вредных и токсичных веществ. Особую опасность представляет диоксин, образующийся при сгорании пластмасс и химикатов, содержащихся в ТБО. Диоксин столь вреден, что ПДК

этого яда для взрослого человека не должна превышать одной миллиардной доли миллиграмма на 1 кг, что приблизительно равно массе бактерий. Для младенцев поступление этого яда с молоком матери или пищей вообще недопустимо. Процесс аналитического определения диоксина в отходящих газах достаточно трудоемок и очень дорогой. Диоксины весьма стойки: период их полураспада — 25 лет.

Содержание в дымовых газах тяжелых металлов приведено в таблице 3.8.

**3.8. Содержание тяжелых металлов в ТБО и дымовых газах**

Металл	ТБО, мг/кг	Дымовые газы, % от содержания в ТБО
Ртуть	2...4	95
Кадмий	1...10	75...90
Мышьяк	0,2...4	75
Цинк	1000...2000	27...40
Свинец	400...1200	30...35
Никель	15...85	10
Медь	400...600	10
Хром	50...250	10

Кроме того, в золе и шлаках МСЗ обнаружены высокие концентрации токсичных металлов и даже радиоактивных элементов. Источником этих загрязнений являются батарейки, аккумуляторы, люминесцентные лампы, краски и другие материалы, присутствующие в мусоре.

Содержащиеся в дымовых газах тяжелые металлы (свинец, цинк, кадмий, ртуть) находятся в водорастворимой форме и представляют экологическую опасность, так как смываются дождем в землю и проникают в грунтовые воды, с которыми поступают затем в зоны водозабора питьевой воды.

Все применяемые способы очистки отходящих газов отличаются высокой стоимостью, конструктивной сложностью, требуют применения материалов, стойких к коррозии.

Однако отсутствуют системы, улавливающие диоксин, ртуть. Поэтому в мировой практике наметилась тенденция отказа от сжигания ТБО. Так, закрыты заводы в Финляндии, Японии, США. Против таких заводов выступает общественность ФРГ.

Из 12 заводов, построенных в б. СССР, только один — Владимирский — работает на отечественном оборудовании, остальные — куплены за валюту за рубежом и большинство из них физически и морально устарели. Все эти заводы работают за счет большой дотации и постепенно прекращают свою деятельность.

МСЗ, построенный в г. Ростове-на-Дону, демонтируют по требованию общественности.

В итоге сжигание неподготовленных отходов наносит определенный вред здоровью человека и природной среде, несмотря на постоянное совершенствование. Поэтому в последнее время предлагают новый метод сжигания отходов — в ванне расплава при температуре около 1500 °С.

### 3.4.2. СЖИГАНИЕ СПЕЦИАЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННЫХ ОТХОДОВ

По прогнозам специалистов слоевое или камерное сжигание специально подготовленных отходов в топках котлов или цементных печах в ближайшее десятилетие получит широкое применение.

В США и Великобритании с 70-х годов проводятся работы по переработке отходов в гранулированное топливо «Refuse Derind Full» (RDF), которое длительное время можно хранить и транспортировать на относительно большие расстояния и при сжигании которого негативное воздействие на окружающую среду значительно меньше. Однако теплотехнические свойства топлива, получаемого этими странами, различны. Так, в США за счет высоких капиталовложений стремятся получить высококачественное топливо, а в Великобритании создают простые дешевые способы получения RDF среднего качества. В США экономичны установки производительностью 1000 т/сут и выше перерабатываемых отходов, а в Великобритании — до 200...300 т/сут.

Технологический процесс получения RDF на первой ступени подготовки отходов состоит из двух операций: дробления отходов и последующей сепарации черных металлов. Если ограничиваться только этими двумя операциями, то получаемый в этом случае RDF будет содержать значительный процент балластных фракций и иметь низкое качество.

Однако при изготовлении RDF не ограничиваются только измельчением и сепарацией, а используют дополнительные машины, механизмы и агрегаты, позволяющие обогащать, гранулировать и брикетировать топливо из отходов. Естественно, что по мере усложнения процесса получения RDF возрастают капиталовложения и эксплуатационные расходы, но полученное таким способом топливо имеет значительно лучшее качество. Принципиальная схема производства гранулированного топлива показана на рисунке 3.6.

Способ получения RDF выбирают в зависимости от вида отходов, их состава, а также последующего способа использования полученного топлива.

RDF можно использовать в качестве основного или дополнительного топлива. При использовании в качестве дополнительного топлива в камеру сгорания можно подавать вместе с основным (углем, торфом или др.)

Измельченное и прошедшее воздушную сепарацию RDF по виду напоминает мягкое конфетти. Многие котельные установки нуждаются лишь в небольшой модернизации для работы на RDF, так как они оборудованы устройствами для удаления шлака и летучей золы. При проектировании котлоагрегатов совместного сжигания природного топлива и RDF необходимо учитывать свойства топлива: теплоту сгорания, элементный состав, включая N, S, F, Cl, состав золы и шлака, а также температуру их плавления. Теплота сгорания RDF колеблется от 5300 до 17 700 кДж/кг.



Рис. 3.6. Структурная схема технологии производства компоста

Рассматривая этот метод термического обезвреживания ТБО, следует иметь в виду, что сжигание в первую очередь направлено на охрану окружающей среды, предотвращая ее загрязнение отходами.

### 3.4.3. ПИРОЛИЗ ОТХОДОВ

Как показывает практика переработки ТБО на МСЗ, наиболее перспективен способ обезвреживания ТБО в две ступени: аэробное биотермическое компостирование органической части ТБО (биотермический метод) с получением компоста — ценного органического удобрения, или биотоплива; пиролиз некомпостируемой части бытовых отходов (НБО), включающих резину, кожу, пластмассы, дерево и т. д.

Под пиролизом понимают процесс термического разложения отходов без доступа кислорода, в результате которого образуются пиролизный газ и твердый углеродистый остаток. Количество и со-

став продуктов пиролиза зависит от состава отходов и температуры разложения.

Пиролиз НБО способствует созданию безотходных и малоотходных технологий и рациональному использованию природных ресурсов.

Пиролизные установки в зависимости от температурного режима процесса разделяют:

на низкотемпературные (450...500 °С), характеризующиеся минимальным выходом газа, максимальным количеством смол, масел и твердых остатков;

среднетемпературные (до 800 °С), характеризующиеся увеличенным выходом газа с уменьшенным количеством смол и масел;

высокотемпературные (свыше 800 °С), характеризующиеся максимальным выходом газов и минимальным количеством смолообразных продуктов.

Процесс пиролиза НБО состоит: из пиролиза НБО в печи с внешним обогревом; дожига пиролизных газов; утилизации тепла отходящих газов в котле-утилизаторе с получением пара; очистки дымовых газов от пыли и химических примесей в пенном абсорбере; сушки абсорбционных растворов в распылительной сушилке; охлаждения пирокарбона в барабане-холодильнике; сепарации черного и цветного металла из пирокарбона; сепарации камней из пирокарбона; измельчения пирокарбона в конусной инерционной дробилке; фасовки пирокарбона в мешки и складирования.

Основной узел пиролизной установки — реактор, представляющий собой шахтную печь со встроенной швельшахтой и системой эвакуации газов, предотвращающей смешивание пиролизных и дымовых газов (рис. 3.7).

Из сортировочного отделения НБО по системе конвейерных транспортеров попадают в приемный бункер пиролизной установки, обеспечивающий двухсуточный запас хранения отходов для бесперебойной ее работы. Из бункера отходы забирают грей-

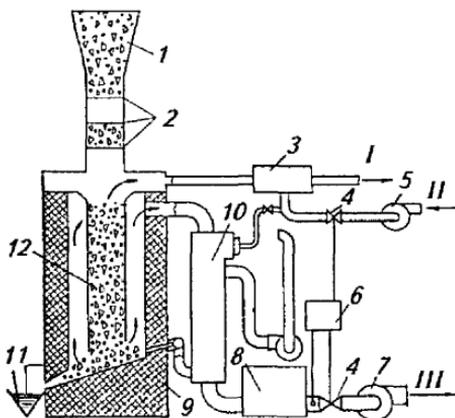


Рис. 3.7. Схема установки высокотемпературного пиролиза:

1 — приемная воронка; 2 — затворы; 3 — конденсатор жидких продуктов; 4 — дроссельные заслонки; 5 — вентилятор; 6 — газоанализатор; 7 — дымосос; 8 — система газоочистки; 9 — сопло подачи подогретого воздуха; 10 — воздухоподогреватель; 11 — водяная ванна; 12 — швельшахта; I, II и III — направления движения соответственно конденсата, охлажденного воздуха и отводящих газов

ферным ковшом, смонтированным на подъемном кране грузо-подъемностью 5 т. Кран подает отходы в промежуточный бункер, днищем которого служит пластинчатый питатель шириной 1,2 м и длиной 4 м, предназначенный для загрузки отходов в верхнюю часть реактора, оборудованную тремя затворами шиберного типа.

В печи пиролизной установки при температуре 500...550 °С без доступа воздуха происходит термическая деструкция (пиролиз) НБО. В результате образуется парогазовая смесь, содержащая в своем составе летучие вещества, пары смолы и твердый углеродсодержащий продукт — пирокарбон.

Для использования тепла горения углеводородов и перевода ряда химических веществ (меркаптан, сероводород, циановодород и т. д.) в безвредные элементы предусматривают их дожиг в специальной камере при температуре 100 °С в потоке отходящих от печей пиролиза газов.

Камера дожига имеет горелку, через которую подают природный газ или мазут и воздух на горение, а для снижения температуры образующихся дымовых газов — воздух.

Камера дожига оборудована рубашкой, в которую поступает воздух, охлаждающий стенки камеры, в результате чего температура газов на выходе из камеры дожига снижается до 800 °С. Воздух на горение и разбавление подают дутьевыми вентиляторами.

Дымовые газы из камеры дожига направляются в рубашку печи пиролиза, где тепло дымовых газов используется для обогрева печи. Из рубашки печи пиролиза дымовые газы температурой 600...700 °С направляются для утилизации тепла в котел-утилизатор. В последнем в результате снижения температуры дымовых газов до 300...350 °С получают пар, который в дальнейшем используют для нужд теплоснабжения производства. Затем дымовые газы температурой 300...350 °С поступают на распылитель для сушки абсорбционных растворов, использованных в абсорберах, а оттуда с температурой 120 °С — на абсорбцию и после очистки выбрасываются в атмосферу.

Полученный в печи пирокарбон с температурой 450...500 °С поступает в холодильный барабан, где охлаждается до 40...50 °С, и по ленточному конвейеру подается на размол, предварительно пройдя электромагнитный сепаратор для извлечения остатков черного металла, и затем поступает на полигональное сито.

Проходя через полигональное сито, пирокарбон освобождается от крупных камней, которые вывозят на свалку, и подается на мельницу, где измельчается до фракции 0,5 мм и менее. После измельчения пирокарбон вновь подают на сепарацию для извлечения цветных металлов, которые накапливают в контейнерах, а пирокарбон направляют на расфасовку и затем на склад готового продукта.

Поступающие на установку отходы НБО более чем на 90 % состоят из органических веществ, в основной массе которых соотно-

шение углерод : водород : кислород приблизительно соответствует их соотношению в целлюлозе.

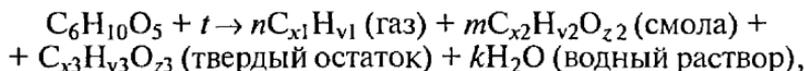
Целлюлоза — высокомолекулярный полисахарид, эмпирическая формула которого  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Клетчатка — главная составная часть органической части отходов, например бумага почти на 100 % состоит из целлюлозы; хлопчатобумажные и текстильные изделия — более чем на 90; древесина — примерно на 50 % из целлюлозы.

При термической обработке целлюлозы (при отсутствии доступа кислорода) она разлагается, образуя большое количество различных продуктов.

Разложение целлюлозы — это экзотермический процесс, зависящий от интенсивности нагрева исходного сырья. При быстром подъеме температуры образуется большое количество парогазовой смеси и температура внутри аппарата повышается.

Медленное нагревание сопровождается равномерным выделением продуктов реакции, при этом тепло экзотермического процесса удаляется с парогазовой смесью, не оказывая существенного влияния на температурный режим внутри аппарата.

Учитывая тот факт, что органическая часть твердых промышленных отходов более чем наполовину состоит из клетчатки, процесс термического разложения органических составляющих отходов может быть представлен следующим образом:



где  $n, m, k$  — количество газа, смолы и водного раствора соответственно.

Соотношение количеств получаемых газообразных, жидких и твердых продуктов, а также их состав зависят от условий пиролиза и состава исходного продукта.

Присутствующие в НБО кожа, пластмасса, резина и другие продукты разлагаются, образуя летучие вещества, которые помимо  $CO_2$  и  $H_2O$ , Cl, F,  $SO_2$  содержат углеводороды (олефины, парафины и т. д.). Пиролизные газы подвергаются дальнейшему окислению в камере дожигания при температуре 1100 °С, превращаясь в менее опасные вещества. Тепло дымовых газов используется для проведения процесса пиролиза НБО, что уменьшает количество топлива, используемого со стороны.

К вредным составляющим НБО относят: серу, основным источником которой является резина; хлор, выделяющийся при сжигании полимерных материалов; оксиды азота; соединения фтора и т. д.

Для защиты окружающего атмосферного воздуха от загрязнений дымовые газы необходимо тщательно очищать как от золы, так и от химических веществ. Наиболее высокие требования очистки дымовых газов предъявляют заводам, расположенным вблизи жилой застройки.

В качестве реагента для очистки дымовых газов применяют известковое молоко, выбор которого зависит от имеющихся в дымовых газах химических примесей (кислые окиси  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{CO}_2$ ) и необходимости вывода химических загрязнителей (слабо- или труднорастворимые соли) дымовых газов, что в случае отсутствия потребителя позволяет безопасно хранить их в отвале. Используя известковое молоко, достигают достаточно высокой степени очистки дымовых газов и обеспечивают доступность нейтрализующего реагента и простоту обращения с ним.

Система, включающая распылительную сушилку и абсорбер, рассчитана на очистку отходящих газов от двух одновременно работающих печей пиролиза. При этом качество выбрасываемых газов характеризуется следующими показателями: пыль —  $30 \text{ мг/м}^3$ ;  $\text{SO}_2$  —  $50$ ;  $\text{NO}_x$  —  $100$ ;  $\text{Cl}^-$  —  $10$ ;  $\text{F}^-$  —  $2 \text{ мг/м}^3$ .

Абсорбция пыли и химических примесей из отходящих топочных газов происходит в пенном абсорбере. В качестве орошающего раствора используют известковое молоко. В результате нейтрализации кислых окислов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ) образуются кальциевые соли соответствующих кислот, раствор которых направляют в распылительную сушилку, где образуется сухой шлам — смесь солей и золы.

Шлам собирают в контейнеры и направляют в отвал для хранения или отправляют потребителю.

Количество загрязняющих веществ, выделяющихся при пиролизе, составляет примерно половину от выделяющихся при сжигании таких же объемов ТБО на МСЗ.

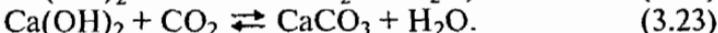
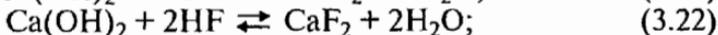
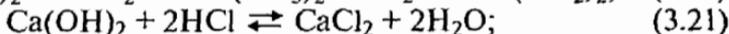
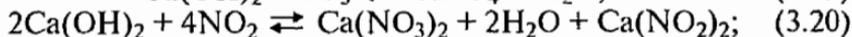
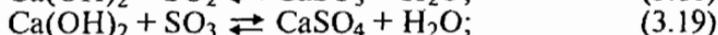
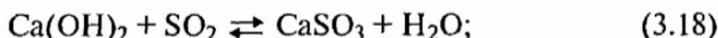
Очистка отходящих газов при пиролизе заключается в следующем. Из печи пиролиза дымовые газы проходят котел-утилизатор, направляются в распылительную сушилку и далее в абсорбер. После очистки газов в абсорбере суспензией известкового молока они выбрасываются в атмосферу, а отработанная суспензия направляется в распылительную сушилку.

#### Основные параметры технологического режима пиролиза НБО

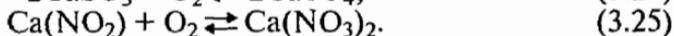
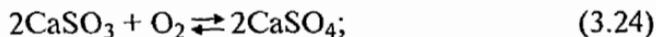
Пиролиз НБО, °С	750...800
Температура дымовых газов на выходе, °С:	
из рубашки печи	600...700
после котла-утилизатора	300...350
после распылительной сушилки	115...120
после абсорбера	67...70
Температура пиролизного газа на входе в камеру дожигания, °С	500...525
Температура отходов на входе, °С	0...25
Температура продукта, °С:	
на выходе из печи пиролиза	450...500
из холодильного барабана	45...50
Давление в печи пиролиза, Па	10...20
Разряжение, Па:	
в камере дожигания	10...30
после котла-утилизатора	140...160

после распылительной сушки	260...280
после абсорбера	660...680
Абсорбер, тип	Пенный
Состав газов после очистки, мг/м <sup>3</sup> :	
зола	30
SO <sub>2</sub>	50
NO <sub>x</sub>	100
Cl	10...15
F	1...2
Нейтрализующий реагент	Известковое молоко
Массовая доля остатка размером 0,5 мм	10

Процесс абсорбции кислых газов для данного метода очистки состоит из нескольких этапов: растворение газов в воде, взаимодействие их с гидроксидом кальция через образование кислых солей. В итоге можно записать:



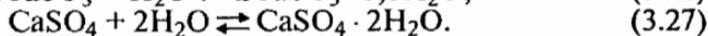
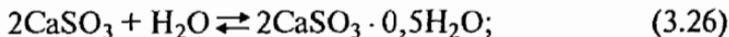
Одновременно происходит окисление сульфатов и нитритов также с образованием кислых солей:



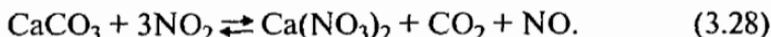
Однако процесс окисления сульфатов и особенно нитритов достаточно медленный и в соответствующие сульфаты и нитраты в обычных условиях абсорбции их переходит не более 3...20 % (по данным НИИОГАЗ).

Образующийся карбонат кальция взаимодействует с более кислыми газами и в отработанной суспензии постепенно накапливается не более 0,5...10 % общей массы осадка.

В процессе абсорбции происходит одновременно гидратация солей:



При высушивании сгущенной суспензии в распылительной сушке при 150 °С будет осуществляться дегидратация солей до  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_3$  и  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или их преобразование, например:



Сульфит кальция при этом может частично распадаться до оксида кальция и диоксида серы.

Гидросульфид кальция, присутствующий в суспензии, обычно быстро окисляется или переходит в кислые соли.

Следует отметить, что гидросульфат кальция является восстановителем и частично восстанавливает даже оксид азота до азота:



Нитриты кальция в жидкой фазе окисляются не очень активно, но, учитывая, что их подают в распылительную сушилку, можно считать, что около 95 % нитритов окисляется по реакции, выраженной формулой (3.15), до нитратов.

Таким образом, отработанная известковая суспензия будет содержать в основном сульфит кальция с примесью 20...40 % сульфатов, учитывая дополнительное окисление сульфитов в сушке, нитраты, фториды и хлориды.

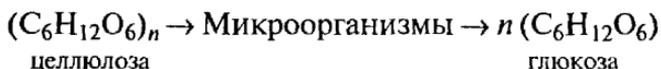
Получаемый при пиролизе НБО пирокарбон обладает следующими физико-химическими свойствами: плотность — 2...2,5 г/см<sup>3</sup>; удельная поверхность — 2200 см<sup>2</sup>/г; насыпная плотность — 0,6...0,7 т/м<sup>3</sup>; гранулометрический состав ( $d > 0,5$  мм — 10 %,  $d < 0,5$  мм — 90 %). Далее приведен химический состав пирокарбона.

Органическая часть, %		Минеральная часть, %	
C	84...89	H <sub>2</sub> O и летучие	35...39
H	3...5	SiO <sub>2</sub>	33...37
S	0,7...0,9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5...8
NO <sub>2</sub>	7...10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3...4
		CaO	7...8,5
		MgO	1,3...2,5
		SO <sub>3</sub>	0,5...1,5
		Прочие	5...8

Теплофизические свойства пирокарбона: теплота сгорания — 12 000...13 000 кДж/кг; теплопроводность — 0,106 Вт (м · °С); температуропроводность — 11,1 °С · 10<sup>-8</sup> м<sup>2</sup>/с.

### 3.5. ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ КОМПСТИРОВАНИЕМ

Различают компстирование полевое и на специальных заводах. Теоретически аэробные биохимические реакции, протекающие при компстировании, можно представить в следующем виде:





пользуя комплекс технологических мероприятий, можно нормализовать содержание в компосте микроэлементов, в том числе солей тяжелых металлов. Из ТБО извлекается лом черных и цветных металлов. Принципиальная технологическая схема производства компоста показана на рисунке 3.8, а схема непрерывного процесса компостирования с аэробным окислением органических отходов во вращающемся биотермическом барабане — на рисунке 3.9.

Для строительства завода по механической переработке ТБО в компост необходимы следующие оптимальные условия: наличие гарантированных потребителей компоста в радиусе 20...50 км и размещение завода у границы города на расстоянии до 15...20 км от центра сбора ТБО при численности обслуживаемого населения не менее 300 тыс. чел.

При подготовке отходов к компостированию около 25...30 % из них не подлежит компостированию. Эти материалы сжигают на компостных заводах или подвергают пиролизу для получения тепловой энергии или пирокарбона, применяемого в металлургии, или вывозят на полигоны ТБО для захоронения.

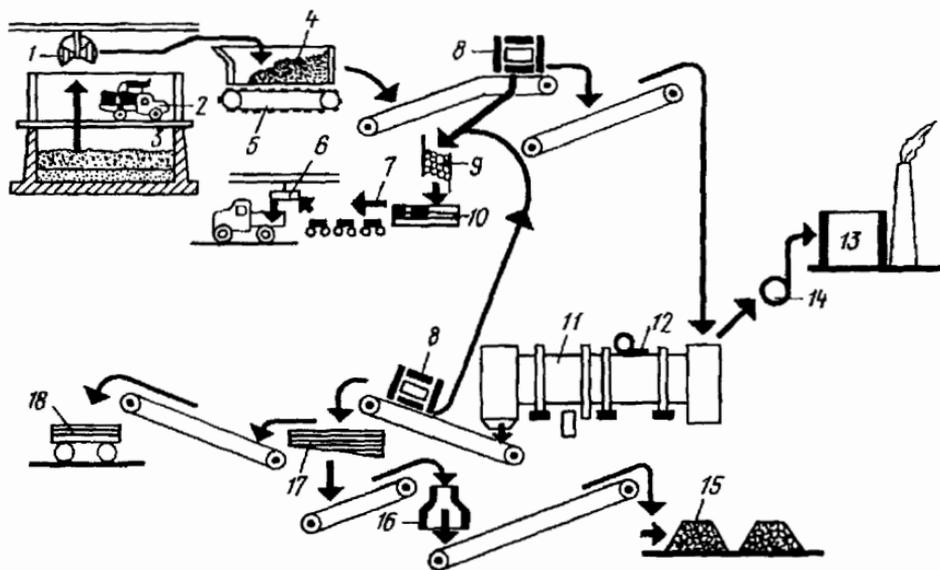


Рис. 3.8. Технологическая схема непрерывного компостирования с аэробным окислением органических отходов во вращающемся биотермическом барабане:

1 — кран-балка с грейферным ковшом; 2 — мусоровоз; 3 — приемный бункер отходов; 4 — дозирующий бункер; 5 — пластинчатый питатель; 6 — подъемный кран с магнитной шайбой для погрузки пакетов металлолома; 7 — ролик; 8 — магнитный сепаратор; 9 — бункер металлолома; 10 — пакетирующий пресс; 11 — вращающийся биотермический барабан; 12 — вентилятор-наездник; 13 — котельная или пиролизная установка; 14 — вытяжной вентилятор; 15 — штабеля компоста на площадках дозревания и готовой продукции; 16 — измельчитель компоста; 17 — грохот; 18 — прицеп для сбора отсева с грохота

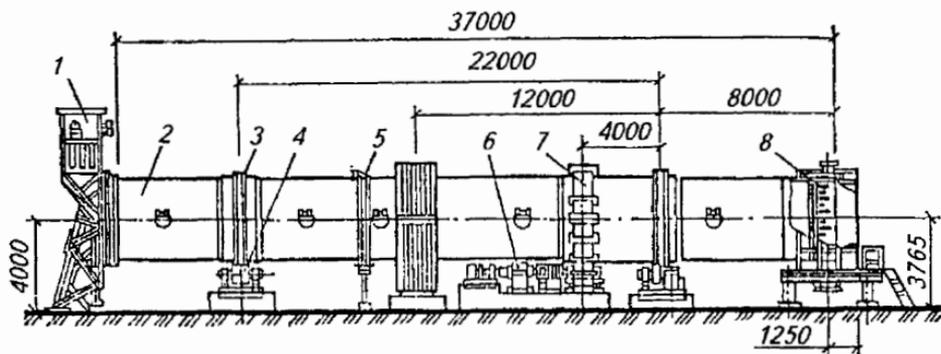


Рис. 3.9. Биотермический барабан КМ-101А:

1 — загрузочная головка; 2 — вращающийся корпус биобарабана; 3 — бандаж; 4 — роликовая опора; 5 — контактные кольца термодатчиков; 6 — электропривод; 7 — венцовая шестерня; 8 — перфорированное разгрузочное устройство

Проектируемые заводы предназначены для ускоренного механизированного обезвреживания и переработки ТБО с целью получения полезных продуктов, используемых в народном хозяйстве: компост, лом черных и цветных металлов, топливные гранулы, текстиль товарный, полимеры.

Переработка твердых отходов на компост — достаточно совершенный прием их обезвреживания и последующего использования.

Технологический процесс переработки ТБО полностью механизирован и управляют им с центрального пульта управления.

Бытовые отходы доставляют на завод кузовные мусоровозы марок КО-413 и КО-415 грузоподъемностью 3 и 9 т, которые разгружаются в приемные бункера с днищами, выполненными в виде пластинчатых питателей (2—24-120Б Электростальского механического завода), имеющих ширину 2,4 м и длину 12 м. Скорость движения пластин настала питателя 0,06...0,16 м/с. Возле каждого бункера предусмотрены два разгрузочных поста, исключающих непроизводительное скопление мусоровозов при разгрузке.

К пластинам питателей приваривают металлические штыри для лучшего захвата подаваемого материала. Перед выходом из бункеров установлены специальные балки с зубьями для разрушения образующихся сводов мусора и регулирования толщины выходящего слоя отходов.

Крупногабаритные отходы изымают из бункеров и складывают в установленные рядом автоприцепы с помощью захвата, подвешенного к кранбалке.

Отходы из бункеров разгружают на ленточные конвейеры, имеющие ширину 1200 мм, по которым они направляются в сортировочный корпус, оснащенный грохотами, электромагнитными и аэродинамическими сепараторами, производящими первичную сортировку поступающих отходов.

С помощью конвейеров, подающих отходы из приемного корпуса, загружают цилиндрические грохоты КМ-201А. Диаметр сита грохота 2,5 м, длина 7,3 м. Размер ячеек сит 150...250 мм, частота вращения грохота  $15 \text{ мин}^{-1}$ , паспортная производительность до 20 т/ч.

Крупные некомпостируемые фракции (картонные ячейки, бумага, текстиль и т. п.) или так называемые некомпостируемые отходы (НБО) ссыпают на конвейер шириной 1200 мм и направляют в бункер балласта.

Черный и цветной металл выбирают электромагнитными сепараторами.

Просеянный материал по конвейерам подается в главный корпус, проходя последовательно сепараторы черного, цветного металла и аэросепараторы, выделяющие легкие фракции — пленку и бумагу (если есть потребитель, то эти фракции отгружают ему, если нет — отправляют на пиролиз).

Иногда в комплекс завода включают линии по производству экологически чистых древесно-полимерных плит из отходов деревообработки и полиэтиленовой пленки, выделяемой аэросепараторами из ТБО.

Весь отобранный в цехе черный металл конвейерами подается в бункер металла и далее в два гидравлических пакетировочных преса БО-1330. Пакеты металла выходят по двум рольгангам на площадку, оборудованную кранбалкой грузоподъемностью 1 т с электромагнитной шайбой М-23А, где пакеты складировуют и затем отгружают потребителям. Производительность одного преса 2,4 т/ч.

Цветной металл по конвейерам поступает в бункера-накопители.

Отсортированные отходы, предназначенные для компостирования, по конвейерам подают в загрузочные устройства биотермических барабанов, выполненных в виде вращающихся цилиндров марки КМ-101А (тольяттинский завод «Волгоцеммаш») (см. рис. 3.9).

Биотермический процесс обезвреживания отходов происходит благодаря активному росту термофильных микроорганизмов в аэробных условиях. Масса отходов сама разогревается до температуры  $60^\circ\text{C}$ , при которой болезнетворные микроорганизмы, яйца гельминтов, личинки и куколки мух погибают и масса отходов обезвреживается.

Под действием развивающейся микрофлоры сложные, быстро гниющие органические вещества разлагаются, образуя компост.

Ежедневно каждый биобарабан загружается на 1/2 полезного объема свежими отходами и одновременно разгружается. Таким образом, свежие отходы, загружаемые в барабан, попадают в среду с активным биотермическим процессом, что сокращает цикл их ком-

постирования до двух суток. Пропускная способность каждого биобарабана до 34 тыс. т/год.

Для обеспечения принудительной аэрации на корпусе биобарабана установлены вентиляторы-наездники, которые подают свежий воздух в толщу находящихся в нем отходов. Количество подаваемого воздуха регулируется по зонам в зависимости от температуры и влажности материала. Оптимальная влажность для ускоренного процесса компостирования 40...45 %. Снаружи биобарабан покрывают слоем теплоизоляционного материала для сохранения требуемого температурного режима.

Биобарабан выполняет практически две функции: обеспечение в компостируемой массе требуемого биотермического процесса и механическое истирание отходов. Выходящий продукт по внешнему виду совсем не похож на исходный мусор.

Разгружаются биобарабаны на ленточные конвейеры, которые, перегружаясь на другие конвейеры, доставляют компост обратно в сортировочный корпус, в котором установлены баллистические стеклосепараторы с пневмоотсевом пленки и инерционные грохоты марки ГИТ-42М.

Баллистический сепаратор — это конвейер с быстрым движением ленты (2...7 м/с). Материал летит в двойную воронку, разделенную перегородкой на два отсека. Тяжелые частицы (стекло, камни), обладающие большей инерцией, летят в дальний отсек, а легкие фракции (компост) ссыпаются в ближний.

В верхней части двойной воронки встроен всасывающий патрубок, в который вентилятором засасывается пленка. Далее компост попадает на мелкое сито (10...15 мм) инерционного грохота, после прохода которого компост окончательно очищается от балластных фракций.

Стекло и мелкий балласт ссыпаются в тележки-прицепы, а компост по системе конвейеров подается на складские площадки.

Складские конвейеры оборудованы плужными сбрасывателями с электроприводами КМ-304, которые разгружают компост на складскую площадку в заданном месте. Далее с помощью бульдозеров формируют штабеля, которые периодически перелопачивают и при необходимости увлажняют.

Большую часть территории, отводимой под размещение мусороперерабатывающего завода, занимают складские площадки для дозревания и хранения компоста.

Примерное время дозревания компоста на складе обычно не менее 2 мес при высоте штабеля до 2 м, а хранения дозревшего компоста — 3 мес при высоте штабеля до 5 м. Мощность мусороперерабатывающего завода 90 тыс. т/год, или 10,7 тыс. м<sup>3</sup>/мес при плотности компоста 0,7 т/м<sup>3</sup>. В этом случае площадь склада дозревания компоста составит

$$F_{\text{доз}} = 2Pt_1K_1/H_1 = 2 \cdot 10\,700 \cdot 2 \cdot 1,3/2 = 27,82 \text{ тыс. м}^2,$$

а площадь склада хранения

$$F_{\text{хр}} = 2Pt_2K_1/H_2 = 2 \cdot 10\,700 \cdot 3 \cdot 1,3/5 = 16,69 \text{ тыс. м}^2,$$

где  $P$  — производительность МПБО, м<sup>3</sup>/мес;  $t_1$  и  $t_2$  — продолжительность дозревания и хранения, мес;  $H_1$  и  $H_2$  — высота штабелей на складах дозревания и хранения, м;  $K_1$  — коэффициент разрыхления, равный 1,3.

Тогда общая площадь склада компоста

$$F_{\text{ск}} = F_{\text{доз}} + F_{\text{хр}} = 27,82 + 16,69 = 44,5 \text{ тыс. м}^2, \text{ или } 4,45 \text{ га.}$$

Состав компоста, получаемого на мусороперерабатывающих заводах из ТБО, приведен далее.

Объемы выбросов вредных веществ в атмосферу мусороперерабатывающим заводом производительностью 50 тыс. т/год компоста отдельно по каждому цеху приведены в таблице 3. 9.

Как показывает практика, при правильной организации сбора ТБО содержание в компосте солей тяжелых металлов не превышает предельно допустимых концентраций.

Органическое вещество на сухую массу, %, не менее	40
N	0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5
K <sub>2</sub> O	0,3
C:N, не более	30
Размер частиц компоста, мм, не более	25
Содержание частиц стекла размером 3...5 мм, %, не более	1,5
Содержание, %:	
полимерных материалов	0,1
прочих балластных включений (камни, металл, резина)	2
Реакция среды (рН солевой вытяжки), не менее	6,0
Титр-коли, не менее	0,01

### 3.9. Вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу мусороперерабатывающим заводом, т/год

Вещество	Источник выброса			Сумма
	присный корпус	главный корпус	дробильно-сортировочный корпус	
Аммиак	9,54	—	1,52	11,06
Углеводороды	64,8	28,2	44,5	137,5
Бензол	32,4	15,2	4,59	52,19
Ксилол	95,3	38,0	36,8	170,1
Толуол	87,6	38,0	18,4	144
Оксид углерода	23,8	8,14	13,8	45,74
Сернистый ангидрид	36,2	—	4,56	44,57
Нетоксичная пыль	667,0	0,55	657,0	1324,55
Ацетон	—	57,0	—	57,0
Оксиды азота	—	—	2,37	2,37
$\Sigma = 1989,08$				

На большинстве работающих мусороперерабатывающих заводах НБО вывозят для захоронения на полигоны ТБО или свалки. На одном из петербургских мусороперерабатывающих заводов построена пиролизная установка для переработки НБО.

Основная продукция мусороперерабатывающих заводов приведена в таблице 3.10.

**3.10. Продукция мусороперерабатывающего завода, принимаемого в год 150 тыс. т (750 тыс. м<sup>3</sup>) ТБО, тыс. т/год**

Показатель	Компостирование	
	с первичной сортировкой и вывозом НБО на свалку	пиролизом НБО
Компост	90	90
Металл:		
черный	4	5
цветной	0,7	0,9
Пленка, текстиль	13,2	—
Пирокарбон	—	7,5
Стекло, камни, кости	9,4	—
Некомпостируемые крупногабаритные фракции	7	7
Газы, потери, испарения, балласт	25,7	39,6

\*В том числе 19,6 тыс. т горючие газы, используемые для получения пара в двух котлах-утилизаторах

В городах с населением 50 тыс. жителей и более при наличии вблизи города свободных территорий применяют полевое компостирование ТБО. Если на мусороперерабатывающих заводах основной технологический процесс — аэробное компостирование, осуществляемое в сложных металлоемких биотермических барабанах или биобашнях, то на площадках полевого компостирования ТБО перерабатывают в открытых штабелях. При этом увеличиваются продолжительность переработки отходов в компост с 2...4 сут до нескольких месяцев, а также соответственно отводимая площадь для размещения сооружений полевого компостирования.

При правильно организованном полевом компостировании, так же как и на заводах МПБО, получают в результате переработки ТБО компост, обеспечивая защиту от загрязнений почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод.

В мировой практике применяют две принципиальные схемы полевого компостирования: с предварительным дроблением ТБО и без него. В первом случае ТБО измельчают специальными дробилками; во втором — измельчение (менее эффективное) происходит за счет естественного разрушения при многократном «перелопачи-

вании» компостируемого материала. Неизмельченные фракции отделяют на контрольном грохоте.

Установки полевого компостирования, оснащенные дробильно-сортировочным оборудованием для предварительного измельчения ТБО, обеспечивают больший выход компоста и дают меньше отходов производства.

ТБО измельчают в молотковых дробилках или в небольших биотермических барабанах.

Материал находится в барабане не более 1 сут при вращении его с частотой до  $3,5 \text{ мин}^{-1}$  и более. Барабан обеспечивает достаточное для дальнейшей обработки измельчение ТБО за 1200...2000 оборотов, или 6...10 ч. Затем полученный материал поступает на сито барабанного грохота с ячейками диаметром 38 мм. При полевом компостировании ТБО, доставляемые на полевой стан, разгружают в приемный бункер или на выровненную площадку. Бульдозером, грейферным краном или специальными машинами формируют штабеля, в которых происходят процессы аэробного биотермического компостирования. Высота штабелей зависит от метода аэрации компостируемого материала и при принудительной аэрации может превышать 2,5 м. Ширину штабеля поверху устраивают не менее 2 м при угле заложения откосов  $45^\circ$  (соответствует углу естественного откоса для ТБО и компоста), длина штабеля 10...50 м. Между штабелями оставляют расстояние 3...6 м для проезда.

Для предотвращения рассеивания легких фракций мусора, интенсивного размножения мух и устранения неприятного запаха поверхность штабеля укрывают слоем торфа, зрелого компоста или грунта толщиной около 0,2 м.

Выделяющееся под влиянием жизнедеятельности термофильных микроорганизмов тепло приводит к «саморазогреву» компостируемого материала в штабеле. При этом наружные слои компостируемого материала разогреваются меньше, чем внутренние, и служат теплоизоляцией для внутренних саморазогревающихся слоев отходов. Поэтому для надежного обезвреживания всей массы материала в штабеле его «перелопачивают», в результате чего наружные слои оказываются внутри штабеля, а внутренние — снаружи. Кроме того, «перелопачивание» способствует лучшей аэрации всей массы компостируемого материала.

Продолжительность обезвреживания ТБО на площадках компостирования от 1 до 6 мес в зависимости от используемого оборудования, принятой технологии и сезона закладки штабелей.

В штабелях *весенне-летней* закладки недробленых ТБО через 5...10 сут температура компостируемого материала повышается до  $60...70^\circ\text{C}$  и удерживается на этом уровне 15...20 сут. Затем она падает до  $40...45^\circ\text{C}$ , достигая через 3...4 мес  $30...35^\circ\text{C}$ . Через 4...6 сут после «перелопачивания» температура на несколько суток снова поднимается до  $60...65^\circ\text{C}$ .

В штабелях *осенне-зимней* закладки температура в течение первого месяца поднимается только в отдельных очагах и по мере саморазогрева (1,5...2 мес) температура всего штабеля достигает 50...60 °С и остается такой две недели (скорость подъема температуры зависит от начальной температуры уложенных ТБО и окружающего воздуха). Далее 2...3 мес температура компостируемого материала удерживается 20...30 °С, а с наступлением лета повышается до 30...40 °С.

В процессе компостирования влажность материала интенсивно снижается, поэтому наряду с «перелопачиванием» и принудительной аэрацией для повышения активности биотермического процесса штабеля увлажняют.

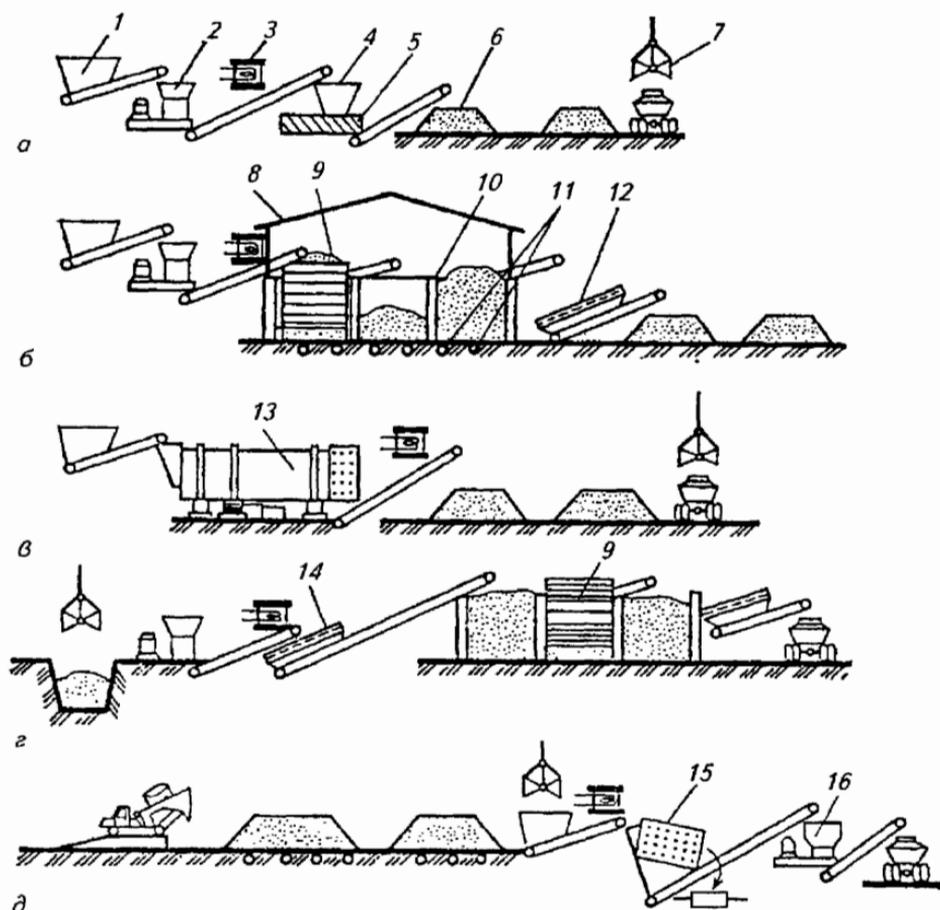
Зрелый компост перед отправкой потребителю направляют на грохот, где его очищают от крупных балластных фракций. В некоторых технологических схемах полевого компостирования (рис. 3.10) отходы разделяют на фракции до компостирования. Из ТБО и компоста или (там, где нет дробления) только из компоста электромагнитным сепаратором извлекают черный металлолом.

Схемы с предварительным измельчением ТБО в начале технологической линии показаны на рисунке 3.10, *а...г*, а схема, где сортировка и измельчение компоста перенесены в конец технологической линии, — на рисунке 3.10, *д*. На схемах *а, б и в* ТБО разгружают в приемные бункера, оснащенные пластинчатым питателем, а на схеме *г* — в траншеи с последующим извлечением их грейферным краном. Измельчают ТБО на схемах *а, б и г* в дробилке с вертикальным расположением вала, а на схеме *в* — в горизонтальном вращающемся укороченном биобарабане.

На схеме *а* измельченные ТБО смешивают с обезвоженным осадком сточных вод с целью их дальнейшей совместной переработки в штабелях в течение нескольких месяцев. За время компостирования перерабатываемый материал несколько раз перелопачивают.

Технологическая схема компостирования в две стадии показана на рисунке 3.10, *б*. Первые 10 сут биотермический процесс происходит в закрытом помещении, разделенном продольными разделительными стенками на отсеки. Компостируемый материал каждые двое суток с помощью специальной подвижной техники перегружают из одного отсека в другой. Для активизации биотермического процесса компостируемый материал аэрируют, подавая воздух через отверстия, расположенные в основании отсеков. Из закрытых отсеков компостируемый материал после сортировки на грохоте перегружают на открытую площадку, где он дозревает в штабелях в течение 2...3 мес. Технологическая схема, показанная на рисунке 3.10, *в*, отличается от остальных дробилкой, в качестве которой используют вращающийся биобарабан.

Двойное грохочение компостируемого материала применяют в технологической схеме, показанной на рисунке 3.10, *г*. При первичном грохочении отходы разделяют на две фракции: крупную, на-



**Рис. 3.10. Принципиальные схемы сооружений полевого компостирования ТБО:**

*а* — совместная переработка ТБО и ОСВ; *б* — компостирование ТБО в две стадии; *в* — схема с предварительной переработкой ТБО в биобарабане; *г* — схема с предварительным дроблением, грохочением и компостированием в открытых лотках, поделенных на отсеки или секции; *д* — компостирование недробленных ТБО; 1 — приемный бункер с пластинчатым питателем; 2 — дробилка для ТБО; 3 — подвесной электромагнитный сепаратор; 4 — подача ОСВ; 5 — смеситель; 6 — штабеля компоста; 7 — грейферный кран; 8 — закрытое помещение для первой стадии компостирования; 9 — подвижная установка для перелопачивания и перегрузки компоста; 10 — продольные подпорные стенки; 11 — аэраторы; 12 — контрольный грохот для компоста; 13 — биобарабан; 14 — первичный грохот для измельченных ТБО; 15 — цилиндрический контрольный грохот; 16 — дробилка для компоста

правляемую на сжигание, и мелкую, направляемую на компостирование. Компостирование осуществляют в лотке, смонтированном на открытой площадке, разделенном на секции. Лоток оснащен установкой для перегрузки компостируемого материала в соседние секции. Созревший компост из последней секции подвергают по-

вторному (контрольному) грохочению, после чего кондиционный компост отправляют потребителю.

При отсутствии дробилки для ТБО можно применять схему, показанную на рисунке 3.10, д, где грохочение, дробление и магнитную сепарацию производят в конце технологического цикла.

При полевом компостировании ТБО все работы должны быть полностью механизированы. Для комплектации площадок рекомендуют только надежное, серийно выпускаемое отечественной промышленностью оборудование (в основном проверенное в условиях заводов МПБО). Каждую секцию оснащают полным комплектом оборудования.

Размещение секционных площадок на водонепроницаемом основании (глинах или суглинках) и ежедневная засыпка поверхности свежесформированных штабелей инертным материалом обеспечивают достаточную защиту почвы, атмосферы и грунтовых вод от загрязнений.

Площадки полевого компостирования проектируют на прием только ТБО и в отдельных случаях — ТБО и обезвоженного осадка сточных вод (ОСВ), образующихся в городе.

Крупный некомпостируемый отсев с контрольного грохота складировать, и для его последующего удаления целесообразно площадки полевого компостирования размещать на территории полигонов ТБО. В этом случае площадь полигона по сравнению с полигоном, эксплуатируемым в обычном режиме, т. е. без площадок компостирования, уменьшается в 4...6 раз. На полигоне и площадке полевого компостирования организуют единую систему электро- и водоснабжения, сбора и рециркуляции фильтрата.

Площадки полевого компостирования также можно оснащать мусоросжигательными установками, что делает их «малоотходными» предприятиями.

При выборе участка обязательно учитывают близость потенциальных потребителей компоста. Площадки компостирования располагают вблизи города для сокращения дальности вывоза ТБО, соблюдая санитарно-защитную зону (не менее 500 м). Следует также учитывать, особенно при оснащении площадок мусоросжигательной установкой, розу ветров в данном районе. Для снижения стоимости строительства выбирают горизонтальный, вытянутый в плане участок.

Площадки полевого компостирования (рис. 3.11) размещают на спланированном участке с водонепроницаемым основанием, покрытым бетонными плитами. Участок, состоящий из одной или нескольких секций, по периметру ограждают сетчатым забором (размер ячеек 40 × 40 мм) высотой до 3 м. Приемный участок имеет два разгрузочных поста для мусоровозов; козловый двухконсольный кран с грейферным захватом с расположением подкрановых путей вдоль участка; дробильно-сортировочное отделение, оборудованное приемным бункером с пластинчатым питателем, магнитный

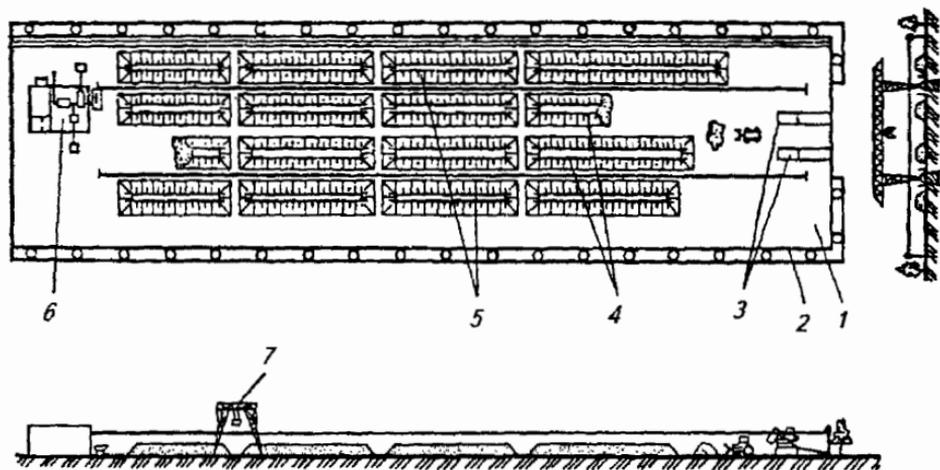


Рис. 3.11. Секционная площадка полевого компостирования (одна секция):

1 — основание площадки; 2 — ограждение; 3 — разгрузочные посты; 4 — штабеля компостируемого материала; 5 — «зрелый» компост; 6 — дробильно-сортировочное отделение; 7 — грейферный кран

сепаратор, цилиндрический грохот, дробилку для компоста, бункер-накопитель для черного металлолома, систему ленточных конвейеров; систему аэрации компостируемого материала (вентилятор, разводящие воздухопроводы, перфорированные воздухопроводы, смонтированные на площадке компостирования); систему увлажнения и пожаротушения, состоящую из трубопроводов для поливки штабелей компоста и тушения пожаров.

Основное сооружение площадки компостирования — дробильно-сортировочное отделение, в едином блоке с которым располагают аэрационное отделение, пульт управления и бытовые помещения. Размер площадки компостирования зависит от ширины захвата козлового двухконсольного крана и требуемой длины штабелей. При использовании крана ККС-10 и продолжительности созревания компостируемого материала 4 мес размер одной секции в плане может быть 60 × 300 м.

Производитель аэрационной системы для аэрации 1 кг ТБО, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_a = [P_{\text{год}} \cdot 1000 / (365 \cdot 24)] g_{\text{в}},$$

где  $P_{\text{год}}$  — годовая производительность секционной площадки полевого компостирования, т;  $g_{\text{в}}$  — удельный расход воздуха,  $g = 0,8 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Необходимое давление воздуха, подаваемого в систему аэрации, обычно составляет 5 кПа. Целесообразна установка двух вентиляторов, работающих попеременно.

Производительность системы увлажнения, м<sup>3</sup>/сут, рассчитывают с учетом повышения на 20 % влажности в процессе его компостирования:

$$Q_v = (P_{\text{год}}/365) \cdot 0,2.$$

Основное оборудование секционной площадки компостирования, определяющее производительность и размер одной секции, — козловый двухконсольный самомонтирующийся кран ККС-10, выпускаемый Узловским машиностроительным заводом, техническая характеристика которого приведена ниже:

Грузоподъемность, т	10	База, мм	14000
Пролет, м	32	Длина моста, мм	54880
Скорость, м/мин:		Высота крана, мм	15046
подъем груза	15	Ширина крана, мм	16250
передвижения тележки	40	Масса, т	41,4
передвижения крана	36		

Кран укомплектован грейферным захватом. Колею крана для ее защиты поднимают на 0,6...1 м или ограждают с внутренней стороны подпорной стенкой.

Принята следующая технология полевого компостирования на секционных площадках. Прибывающие мусоровозы разгружают со специальных пандусов на приемном участке, где материал может находиться не более 8 ч. Бульдозером ТБО собирают в штабель, формируемый (с помощью бульдозера и грейферного крана) в течение 1 мес. Суточную порцию отходов засыпают торфом или зрелым компостом слоем 0,2...0,3 м.

После выдерживания (1 мес) материал перегружают во второй (сформированный ранее) штабель, который находится дальше от приемного участка и сформирован параллельно первому. В течение цикла переработки материал перелопачивают 3...4 раза.

За счет биотермического процесса (в условиях принудительной аэрации и теплоизоляции сухим инертным материалом) компостируемый материал разогревается до 60 °С. Такая температура держится 1...3 мес, что обеспечивает гибель яиц гельминтов, личинок мух и большей части патогенной микрофлоры.

Из последнего штабеля материал грейферным краном перегружают в приемный бункер дробильно-сортировочного отделения, где подаваемый материал проходит через контрольный грохот с ячейками диаметром 60 мм и магнитный сепаратор, извлекающий из компоста черный металлолом.

После грохочения крупные некомпостируемые фракции направляют для захоронения на полигон или на сжигание в печь. Мелкий отсев доизмельчают и грузят в автомобили для отправки потребителям.

В определенные периоды года (компост является сезонным продуктом) готовую продукцию складывают в штабеля, располагаемые вдоль ограждения полигона. Штабеля вмещают шестимесячный за-

пас компоста. В процессе компостирования плотность материала увеличивается с 0,2 до 0,6...0,8 т/м<sup>3</sup>.

Каждый штабель рассчитан на месячную производительность площадки ( $P_{\text{мес}} = 1000$  т). Ширину штабеля в основании вычисляют из условия обеспечения проезда крана и другой техники между штабелями, м,

$$B_{\text{шт}} = (L_{\text{к}} - 2c - d)/2,$$

где  $B_{\text{шт}} = 12$  м;  $L_{\text{к}}$  — пролет крана, м, для крана ККС-10  $L_{\text{к}} = 32$  м;  $c$  — расстояние от колеи подкрановых путей до штабеля обычно не менее 1 м;  $d$  — ширина проезда между штабелями, принимают  $d = 6$  м.

Длина основания штабеля при угле заложения откоса 45°, м,

$$L_{\text{ос}} = k_1 P_{\text{мес}} / (B_{\text{шт}} - h_{\text{ср}}) h_{\text{ср}} \gamma_{\text{ср}},$$

где  $k_1$  — коэффициент, учитывающий наличие засыпки штабелей инертным материалом, равен 1,07;  $h_{\text{ср}}$  — средняя высота штабеля, равная 2,5...2,8 м;  $\gamma_{\text{ср}}$  — средняя плотность ТБО в штабеле, т/м<sup>3</sup>. Для штабеля первого месяца  $\gamma_{\text{ср1}} = 0,45$  т/м<sup>3</sup>; второго  $\gamma_{\text{ср2}} = 0,6$ ; третьего, четвертого месяцев  $\gamma_{\text{ср3}} = 0,7$  т/м<sup>3</sup>.

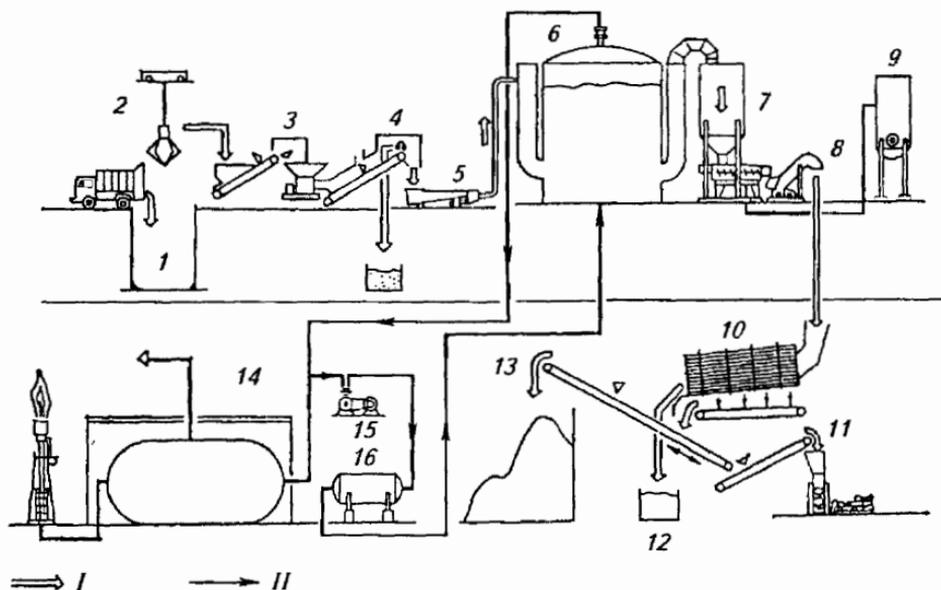
Длина основания штабелей первого, второго и третьего месяцев:  $L_{\text{ос1}} = 96$  м;  $L_{\text{ос2}} = 70$  м;  $L_{\text{ос3}} = 60$  м. С целью обеспечения противопожарной безопасности и уменьшения длины штабеля целесообразно в течение первого месяца параллельно формировать два штабеля. Бытовые отходы на площадке полевого компостирования принимают круглый год ежедневно или 5...6 раз в неделю в течение одной смены.

При этом дробильно-сортировочное отделение работает в одну смену. Отпускают готовый компост тоже в одну смену. Грейферный кран работает в две смены: в первую смену отгружает готовую продукцию (в сезон отпуска компоста), формирует первый штабель и загружает приемный бункер дробильно-сортировочного отделения; во вторую смену перелопачивает штабеля.

### 3.5.3. АНАЭРОБНОЕ КОМПСТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В последние годы ведутся работы по метановому сбраживанию ТБО. Во Франции апробирована в производственных условиях технология переработки ТБО в анаэробных условиях с получением горючего газа и органических удобрений. Принципиальная схема переработки ТБО в анаэробных условиях показана на рисунке 3.12.

ТБО разгружают в приемный бункер, откуда грейферным краном их подают на питатель, а затем в коническую дробилку с вертикальным валом. Из дробилки измельченные ТБО перегружают на ленточный конвейер, проходящий под электромагнитным сепаратором, предназначенный для извлечения черного металлолома. Очищенные от черного металлолома отходы подают в метан-



**Рис. 3.12.** Принципиальная схема переработки ТБО методом анаэробного компостирования:

1 — приемный бункер; 2 — мостовой грейферный кран; 3 — дробилка; 4 — магнитный сепаратор; 5 — насос-смеситель; 6 — метантенк; 7 — шнековый пресс; 8 — рыхлитель; 9 — емкость для сбора отжима; 10 — цилиндрический грохот; 11 — упаковочная машина; 12 — крупный отсев; 13 — склад удобрений; 14 — газгольдер; 15 — компрессор; 16 — уравнивательная камера; I — направление движения отходов; II — направление движения газа

тенк вместимостью  $500 \text{ м}^3$ , где их выдерживают в анаэробных условиях 10...16 сут при температуре  $25^\circ\text{C}$  с целью его сбраживания. В результате из каждой тонны отходов получают около 120...140  $\text{м}^3$  биогаза: часть которого из метантенка поступает в газгольдер, а другую часть компрессором через уравнивательную камеру подают под давлением под слой перерабатываемых отходов с целью перемешивания сбраживаемой массы.

Отработанную твердую фракцию выгружают и затем подают в шнековый пресс для частичного обезвоживания. Затем обезвоженная твердая фракция поступает в разрыхлитель и оттуда в цилиндрический грохот, в котором материал разделяют на массу, используемую в качестве органических удобрений, и крупный отсев.

Из 1 т бытовых отходов получают в среднем 170 кг, или 140  $\text{м}^3$  биогаза, содержащего 65 % метана; 410 кг органических удобрений влажностью 30 %; 50 кг металлолома и балластных фракций, извлекаемых магнитным сепаратором и отбрасываемых дробилкой; 250 кг крупного отсева, отделяемого цилиндрическим грохотом; 170 кг составляют газовые потери и фильтрат.

При сжигании биогаза без предварительной очистки выделяется 23 400 кДж/м<sup>3</sup> тепла, или после его очистки от примесей диоксида углерода и сероводорода — 35 600 кДж/м<sup>3</sup>.

На переработку анаэробным компостированием вместе с ТБО могут принимать и некоторые виды отходов сельскохозяйственного производства и пищевой промышленности.

---

## 4. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТХОДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ



### 4.1. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Отходы животноводства образуются в огромных количествах в результате концентрации животных на животноводческих фермах. Сбор и удаление навоза и других выделений на животноводческих фермах уже длительное время представляют серьезную проблему. Основной способ удаления навоза — вывоз его на поля, т. е. возвращение в землю в виде удобрения. Однако при существующих средствах удаления твердых отходов возникает опасность загрязнения почвы. Известно, что отходы животноводства, а также химические удобрения и навоз загрязняют поверхностные и подземные воды. Повсюду вода рек, протекающих в сельскохозяйственных районах, содержит значительное количество нитратов и фосфатов, причем первые из них образуются за счет внесения в почву отходов животноводства, последние — за счет внесения промышленных химических удобрений.

Отходы животноводства — прекрасное органическое удобрение, но оно не может конкурировать с химическими удобрениями, такими, как мочевины, фосфаты, нитраты, нитрофосфаты, аммоний и их смеси с калийными солями. Кроме того, на вывоз животноводческих отходов, их распределение по площади и заделку в почву требуются большие затраты труда. После сушки отходов животноводства состав их изменяется и становится примерно эквивалентен 1N, 1P, 1K, что соответствует содержанию 1 % N, 1 % P и 1 % K. Это значительно меньше, чем в химических удобрениях, содержащих 10N, 10P, 10K. Кроме того, химические удобрения легко распределить по поверхности обрабатываемого поля и они достаточно быстро впитываются почвой. Поэтому в сельской местности отходы птицеводства и животноводства часто выбрасывали за пределы деревни и забывали о них. Однако при промышленном производстве птицы, говядины и свинины возникла проблема отходов, нередко связанная с загрязнением атмосферного воздуха, поверхностных и грунтовых вод и почвы.

С развитием птицеводства в России появились крупные птицефабрики, как правило, размещаемые вблизи крупных городов, занимающиеся производством яиц, переработкой птицы на мясо, воспроизводством молодняка и выращиванием кормовых культур на собственных землях. В результате хозяйственной деятельности на птицефабриках образуется достаточно большое количество твердых отходов, например, от кур несушек массой 2...2,5 кг собирают около 0,11 кг помета (70%-й влажности) ежедневно, или 30 г твердого вещества в сутки. Птицеводство является одним из источников загрязнения атмосферного воздуха, подземных и грунтовых вод и почвы. Ценность птичьего помета как удобрения зависит от возраста птицы, способа содержания, влажности помета и других факторов. В птичьем помете содержится 1...3 % N, 0,5...1,5 % P и 0,5...0,8 % K.

В состав куриного помета входит 75...80 % воды, 15...18 % летучих веществ и до 7 % золы первоначальной массы помета. В сухом остатке после удаления влаги содержится около 37 % протеина и 34 % углеводов, 13 % липидов и 9,6 % алюмоокислот. В целом с учетом углеводов в помете может содержаться 62...75 % пектинов, целлюлозы и других подобных веществ. Количество кальция составляет в сухом остатке 9,3 %, K — 0,7, P—1,5, N—5,9 %, причем в аммонийной форме находится до 11,8 % общего количества азота. Плотность помета 1,75...1,85 т/м<sup>3</sup>, рН 6,9...7,4, соотношение C : N равно 8 : 12, БПК — 30...35 тыс. мг/кг, ХПК — 150...160 тыс. мг/кг.

Птичий помет содержит большое количество кальция, много мелких и плотных частиц, что способствует его длительному хранению.

Запрещено сбрасывать навоз на мерзлую землю и снег, чтобы предотвратить последующее смывание навоза талыми водами и попадание его в открытые водоемы. Запрещено также размещать птичий помет вблизи жилищ, санаторно-курортных зон, кемпингов и зон рекреации в летний период. Поэтому возникает необходимость в организации мест временного хранения отходов до того момента, когда их можно будет внести в почву. Для этого используют глубокие ямы, устраиваемые в виде резервуаров. При планировании места временного хранения отходов учитывают время хранения и ежедневное поступление отходов, степень распространения запаха. Резервуар можно располагать выше или ниже поверхности земли. Чаще его размещают ниже уровня земли, чтобы легче его заполнять.

Зная предполагаемое время хранения отходов, можно установить размеры навозохранилища. Если учесть, что от 1000 кур-несушек образуется около 0,113 м<sup>3</sup> помета в сутки, то для хранения отходов от 1000 птиц в течение 5 мес потребуются хранилище вместимо-

стью 16,8 м<sup>3</sup> отходов и вода в случае использования гидравлических способов удаления помета. В процессе постепенного заполнения резервуара происходит осаждение тяжелых фракций, таких, например, как соединения кальция с образованием плотной массы в придонной его части. С целью полного опорожнения резервуара в него перед выгрузкой заливают воду и начинают откачивать жидкую массу с понижением уровня в нем на 1/3 глубины резервуара, затем оставшуюся массу размешивают и через 15...30 мин ее выгружают. Сверху резервуары перекрывают бетонными плитами.

Сухой помет хранят в крытых помещениях, которые должны быть полностью изолированы, чтобы предотвратить размножение мух.

Достаточно широко применяют высушенный птичий помет, используемый в качестве органического удобрения. Обезвоживают помет механическим или термическим способом.

*Механическое обезвоживание* осуществляют обработкой помета в пресс-фильтрах или центрифугированием. В результате механической обработки содержание влаги в помете уменьшается до значения, при котором помет можно хранить длительное время. Обычно после механического обезвоживания остается около 60 % влаги. Такой помет при хранении нагревается и выделяет сильный запах. Применение вакуум-фильтров для обезвоживания птичьего помета экономически невыгодно.

Применение *термического обезвоживания* более удобно для переработки отходов птицеводства. Эффективность работы сушилок зависит от влажности исходного материала, которая не должна превышать 65 %, и резко возрастает при уменьшении влажности ниже указанной.

В начальный период влажность птичьего помета составляет 70...80 %, и поэтому при термическом методе обезвоживания ее необходимо снижать. Значительного снижения начальной влажности птичьего помета можно достичь на стадии накопления его в птичнике путем естественной циркуляции воздуха непосредственно в самом птичнике и пропуска воздуха над сборной ямой перед ее выгрузкой. За счет этих мероприятий исходную влажность помета можно снизить до 60...40 % и более, что значительно повышает эффективность последующего термического обезвоживания. Опыт ученых США показал, что уменьшение первоначальной влажности на 15 % позволяет в 2,5 раза увеличить эффективность работы сушильного оборудования.

Центрифугирование также может уменьшить влажность птичьего помета. Оно эффективно лишь при влажности обрабатываемого помета 80...90 % и позволяет уменьшить его влажность до 60 %. Помет с такой влажностью пригоден только для последующей термической обработки, а образующийся при этом центрифугат имеет очень высокое значение БПК, который требует специальной обработки.

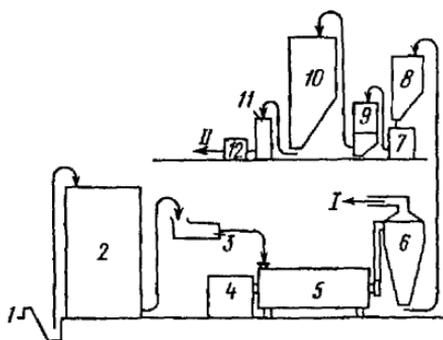


Рис. 4.1. Схема установки для сушки и упаковки птичьего помета:

1 — приемная площадка; 2 — приемный бункер исходного материала; 3 — смеситель; 4 — печь; 5 — барабанная сушилка; 6 — циклон; 7 — мельница; 8 — приемный бункер сухого помета; 9 — холодильник; 10 — бункер готового продукта; 11 — фасовочная машина; 12 — склад готовой продукции; 1 — выход газов; 11 — потребитель

Для определения экономической эффективности комплексного использования методов центрифугирования и термической обработки необходимо сопоставлять их преимущества и недостатки с учетом качества получаемых удобрений. Влажность продукта, поступающего в сушку, может быть снижена путем рециркуляции части высушенного продукта. Для этого перед подачей в сушильный аппарат влажный материал смешивают с сухим. Существует много технологических схем сушки и последующей упаковки птичьего помета, однако все они действуют практически по одному и тому же принципу (рис. 4.1).

Обычно куриный помет высушивают до 10...15%-й влажности, что достаточно для упаковки и хранения.

Большое влияние на химический состав получаемых органических удобрений оказывает возраст помета, т. е. время с момента его образования до сушки. При длительном хранении теряются полезные вещества, особенно азотсодержащие.

Для обезвреживания отходов птицефабрик можно использовать метод аэробного компостирования, протекающего вследствие биологической активности микроорганизмов, существующих в этих отходах. При достаточном количестве воздуха преобладают аэробные типы организмов, которые, используя кислород для дыхания и метаболизма, выделяют  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и тепло. Желаемый диапазон влажности птичьего помета для компостирования 35...50 %. При меньшей влажности снижается активность микроорганизмов, а при большей — уменьшается доступ кислорода. Для обеспечения стабильного процесса компостирования органических отходов соотношение углерода к азоту должно быть 20 : 1, у птичьего помета обычно это соотношение колеблется от 8 : 1 до 12 : 1. Нормальная температура компостирования 50...60 °С. С увеличением температуры может произойти самовозгорание, а если температура опускается ниже указанного предела, деятельность бактерий снижается или совсем прекращается.

Компостирование проводят частично в биостабилизаторах с последующим дозреванием в буртах. Процесс компостирования

отходов птицеводства можно организовать и на открытых площадках в буртах с еженедельным «перелопачиванием» всей массы компоста.

Анаэробное компостирование для обезвреживания отходов птицеводства практически не применяют.

В США предложен способ получения настоящего высококачественного протеина, основанного на использовании птичьего помета для производства куколок мух с последующим их высушиванием, измельчением и использованием в качестве пищевого компонента с высоким содержанием протеина.

Этот способ состоит в распределении птичьего помета тонким слоем на сетчатом полу, так как свежий помет является хорошей средой для роста личинок мух. В распределенную массу помещали яйца мух из расчета три яйца на 1 г помета. Образующиеся личинки проделывали отверстия в массе и аэрировали ее. На пятые сутки над массой устанавливали лампы дневного освещения мощностью 40 Вт и освещали ее 2 сут. В течение первого часа освещения личинки выползали из массы и падали в емкость, расположенную под сеткой. Остальное время освещение использовали для удаления оставшихся личинок и подсушивания массы. При этом личинки вступали в третью фазу их жизненного цикла — окукливания. Куколки собирали, сушили и измельчали до тонкости помола муки. Оставшийся помет полностью высохал и не имел запаха. Он пригоден как для размещения в земле, так и для дальнейшей сушки, гранулирования, упаковки и продажи.

Полученный продукт (мука из куколок) содержит до 60 % протеина, большое количество различных аминокислот, примерно 15 % жира, и его можно использовать в качестве пищевого ингридиента.

#### **4.1.2. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА**

Для выбора оптимального способа переработки отходов свиноводства важно знать, что на их физические и химические свойства влияют физиология (размер, пол, порода и активность) животных, рацион (усвояемость и содержание протеина и волокна), а также окружающая среда (температура и влажность). Добавление в пищу антибиотиков для профилактики заболеваний влияет на биологические свойства отходов. При введении свиньям больших доз антибиотиков значительная часть последних может проходить через пищеварительный тракт и ограничивать биологическую переработку навоза до тех пор, пока путем разбавления не будет снижена концентрация антибиотиков. В качестве стимулятора роста в пищу добавляют медь в виде сульфата или оксида. Большая часть ее переходит в отходы и, как было обнаружено, ограничивает рост бактерий.

**Таблица 4.1. Примерный суточный выход навоза на свинофермах (средненные значения для неразбавленного навоза)**

Животные	Показатель		Количество отходов			
	Возраст, нед.	Масса, кг	жидких и твердых		только твердых	
			м <sup>3</sup>	л	м <sup>3</sup>	кг
Поросята	6...9	18,1	0,002	1,7	0,001	1,1
	9...13	45,3	0,004	3,6	0,003	2,7
	13...18	68	0,006	6,4	0,004	4
Свиньи:	18...23	95,2	0,008	84	0,006	5,6
	без подстилки	20...52	136	0,012	12	0,008
на подстилке	52 и более	226,7	0,02	18,9	0,014	13,6
Боровы	—	—	0,015	15,1	0,014	13,6

Количество ежесуточных отходов от свиней колеблется в зависимости от породы и возраста свиньи, метода откармливания и состава самих отходов, количества сточных вод. В среднем количество сточных вод составляет на 45 кг живой массы свиней до  $3,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/сут или 3,6 л/сут.

Количество навоза, подлежащего обработке, от свиней различной массы можно определить по таблице 4.1. Количество жидких отходов зависит главным образом от объемов воды, используемой для очистки помещений. Содержание твердых веществ в отходах составляет на 100-килограммовую свинью около 1 кг/сут, а летучих твердых веществ — около 0,34 кг/сут.

В среднем в отходах животноводства, используемых в качестве удобрения, содержится полезных веществ: 0,7 % N, 0,4 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,4 % K<sub>2</sub>O.

Если вблизи свиноводческих комплексов имеются достаточные площади земельных угодий, то навоз вносят разбрасыванием. Жидкие отходы свиноводства, распределяемые по полям дозой 11...30 т/га, являются дополнительным источником питательных веществ для почвы.

Влияние органических отходов на окружающую среду и водные организмы определяют по количеству кислорода, потребляемому аэробными бактериями для биологического разрушения органических веществ (БПК), и химическому потреблению кислорода (ХПК). По БПК и ХПК устанавливают количество химически окисляемого органического вещества в отходах. В среднем БПК составляет около 0,14 кг/сут в расчете на свинью массой 45 кг, а ХПК — около 1,4 кг/сут.

Для сравнения влияния отходов животноводства с бытовыми отходами вводят популяционный эквивалент (ПЭ), который определяют как отношение БПК в отходах, образующихся при содержании животных, и БПК в отходах, образующихся в результате жизнедеятельности людей. Для свиньи массой 45...56 кг ПЭ=2, т. е. БПК отходов, производимых одной свиньей, эквивалентно отходам от

двух человек. Объемы же отходов, подлежащих обработке, будут сильно отличаться, так как отходы от свиней имеют более высокую концентрацию.

Один из наиболее распространенных способов удаления отходов животноводства — внесение их в почву в твердом виде. Он экономичен, но имеет недостатки как на стадии образования, так и на стадии его удаления: сильный запах; потребность в ежедневной очистке пола; необходимость в подстилке для поглощения жидкости; источник размножения мух и других насекомых; неприятный вид отходов; для их размещения необходима значительная площадь земельных угодий; потери питательных веществ более значительны, чем при обработке жидким навозом.

К недостаткам относят также и плохие условия работы. Поэтому этот способ размещения отходов применяют все реже.

**Внесение навоза в жидком виде.** Этот способ внесения навоза наиболее популярен. В остальных случаях жидкие отходы смывают с пола, собирают и хранят в емкостях, затем с помощью насосов перекачивают в цистерны и вывозят на поля. Наиболее распространен метод транспортировки жидких отходов в вакуумных цистернах, куда закачивают жидкий навоз через вакуумные трубы. По этим же трубам навоз под давлением распределяют на полях. Цистерны рассчитаны на 3000...7600 л.

Основная проблема при внесении жидкого навоза — устранение запаха. Для этого перед транспортировкой к навозу добавляют специальные вещества, уменьшающие запах, и навоз желательно разбрызгивать в прохладный безветренный день. После внесения навоза почву необходимо обработать дисковым культиватором, что также уменьшает запах.

Неплохие результаты получают при закладке навоза в заранее подготовленные борозды, выполненные плужной вспашкой на глубину 0,15...0,2 м. После внесения навоза их закрывают землей с помощью плуга.

Также распространен способ удаления жидкого навоза и сточных вод с использованием дождевальных машин, применяемых при орошении. В этом случае в местах содержания животных предусматривают системы гидронавозоудаления, резервуар-хранилище, систему гидротранспорта, дождевальные машины типа ДДН. При использовании этого способа удаления навоза необходимо: разбавлять навоз водой до концентрации твердых веществ 5...10 %, перемешивать навоз перед перекачкой, промывать всю систему чистой водой после перекачки навоза.

В практике обращения с отходами свиноводства для их переработки применяли способы анаэробного и аэробного окисления, используемые в системе удаления ТБО. С целью обезвреживания отходов свиноводства за рубежом достаточно широко использовали так называемые анаэробные водоемы.

*Анаэробное разложение* — один из наиболее распространенных способов обработки отходов свиноводства. К числу анаэробных систем, применяемых при обработке отходов животноводства, относят анаэробные водоемы, анаэробные автоклавы и септические резервуары.

Главное преимущество анаэробной обработки — способность разрушать большее количество органического материала на единицу объема, чем при аэробной обработке, а также возможность в определенных условиях получать полезный продукт — метан. Газ, производимый в автоклавах, содержит 60...80 % метана. Остальной газ — это двуокись углерода с небольшими количествами различных промежуточных продуктов. Хотя содержание последних не превышает 1 %, именно они вызывают тот неприятный запах, который связан с анаэробным разложением.

Анаэробное разложение — сложный процесс, и для управления им необходимо контролировать определенные параметры (температуру, pH, присутствие токсичных веществ).

**Анаэробные водоемы.** Применяют их для хранения и обработки отходов свиноводства благодаря низкой стоимости и простоте оборудования. Но используют их не всегда успешно: иногда возникает сильный запах; содержимое водоемов, просачиваясь через грунты основания, загрязняет поверхностные и грунтовые воды; отходы разлагаются не полностью, и через некоторое время водоемы заиливаются.

Максимальная скорость загрузки анаэробных водоемов определяется их размером и колеблется в зависимости от температуры. Продолжительность разложения уменьшается при повышении температуры от 10 до 21 °C со 100 до 50 сут. Поэтому этот метод предпочтительнее для районов с теплым климатом. Рекомендуемая скорость загрузки для южных регионов составляет 16...160 г/сут твердых веществ на 1 м<sup>3</sup> водоема. Для регионов с умеренным климатом рекомендуется постоянная загрузка со скоростью 80 г/сут твердых веществ на 1 м<sup>3</sup>, что соответствует примерно 4,2 м<sup>3</sup> водоема на свинью массой 45 кг.

Место для анаэробного водоема выбирают вдали от жилых строений при условии, что преобладающие ветры не относят запах к населенным пунктам. Грунт под водоемом должен быть непроницаемым. Однако одни исследователи считают, что отходы свиноводства могут кольматировать основание, а другие указывают, что несколько лет после внесения происходит просачивание отходов через придонные слои. Нельзя устраивать водоемы на песчаных почвах или известняковых формациях без специальных противодиффузионных экранов.

По конструкции водоемы должны быть аналогичны бассейнам или навозохранилищам, используемым на фермах. Они могут иметь круглую, квадратную или прямоугольную формы в плане. Лучше делать водоемы шириной до 15 м, чтобы можно было удалять

ил с помощью экскаватора либо всасывающего грунтового насоса. Поскольку для анаэробных водоемов обязательно проникновение света или свободного кислорода, они должны быть достаточно глубокими.

В глубоких водоемах поддерживают более постоянную температуру, что способствует интенсификации процесса анаэробного разложения. Чем меньше площадь водной поверхности водоема, тем слабее запах. Обычно глубина таких водоемов составляет 3...3,6 м.

Отходы вводят в водоемы так, чтобы твердые вещества распределялись равномерно и не накапливались по краям, для чего используют сливную трубу, которую располагают как над, так и под водной поверхностью водоема. Сток из анаэробных водоемов с отходами свиноводства в естественные водные источники не допускается. Поверхностный сток дождевых и талых вод необходимо отводить от водоема, так как он способствует его переполнению. Все водоемы, особенно анаэробные, с большой глубиной огораживают, чтобы туда не могли попасть дети или домашние животные.

Новый водоем заполняют дождевой водой, после чего отводят поверхностный сток. При понижении уровня в водоеме добавляют воду для того, чтобы твердые вещества постоянно находились под водой.

Эксплуатацию водоема лучше начинать летом, а отходы в водоеме размещать после того, как он будет заполнен водой хотя бы наполовину. Вводя в водоем затравку из другого действующего анаэробного водоема либо из действующего автоклава (азротенка) станции очистки городских сточных вод, увеличивают скорость бактериальных процессов. Лучше вводить отходы непрерывно, а не накапливать их.

Для улучшения условий работы водоема и продления срока его эксплуатации в некоторые периоды года отходы можно разбрызгивать на сельскохозяйственные угодья, а водоем использовать только тогда, когда вывезти их на поля невозможно. Поступающие органические вещества необходимо перемешивать с уже накопившимся в водоеме илом, вводя их через входную трубу. Перемешивание происходит также под действием ветра и пузырьков выделяющегося газа.

*Аэробное разложение* — уменьшение количества органического вещества под действием аэробных микроорганизмов, поглощающих свободный кислород. Эти микроорганизмы используют отходы в качестве субстрата, разрушая их органическую часть до воды и окиси углерода. В атмосферу выделяется некоторое количество азота, но основная его часть переводится в нитриты и нитраты. К сожалению, аэробные бактерии не обладают 100%-й эффективностью разрушения органического вещества, они обычно разлагают лишь до 40...50 % органических твердых веществ.

Основное преимущество аэробного разложения — отсутствие запаха. Поэтому некоторые виды аэробной обработки перспектив-

ны для многих систем обработки животноводческих отходов. К преимуществам аэробного разложения относятся также частичное разложение летучих (органических) веществ, разрушение большей части (возможно, полностью) патогенных организмов, концентрирование минеральной части отходов.

**Аэробные водоемы.** Обычный естественно аэрируемый водоем — это бассейн глубиной 0,9...1,2 м, используемый для очистки сточных вод и других жидких отходов. Очистка происходит под действием тепла и солнечного света, способствующих росту водорослей. При правильном обращении по истечении необходимого времени органический материал существенно разрушается и БПК уменьшается. Предполагалось, что большинство первых аэробных водоемов для животноводческих отходов будут действовать как аэробные, но они в основном оказались анаэробными из-за высокой плотности заполнения.

**Водоемы с принудительным аэрированием.** В последнее время интерес вызывает возможность использования водоемов с механическим аэрированием для обработки отходов свиноводства. Принцип действия таких водоемов следующий. В аэрируемом водоеме устанавливают плавающий аэратор, с помощью которого разрушается большая часть твердого органического материала вспениванием, способствующим более полному разложению органических веществ.

Механически аэрируемые водоемы рекомендуют выполнять круглой или вытянутой формы и глубиной 4,5...6 м. Объем водоема определяют из расчета 0,006 м<sup>3</sup> на 1 кг массы свиньи. Основанием водоема должны быть плотные водонепроницаемые глины, в противном случае предусматривают устройство противоточного экрана. Водоем желательно располагать вблизи свинарника, чтобы уменьшить длину эксплуатационных трубопроводов. В процессе эксплуатации водоема необходимо поддерживать непрерывную работу аэратора.

**Канавы для окислительных процессов.** Этот метод был разработан в Нидерландах для очистки сточных вод, образующихся от небольших поселков. Канавы для окислительных процессов — это открытый канал, содержащий отходы. Аэрирующий ротор перемешивает их, вводя воздух, содержащий кислород, необходимый для аэробных бактерий. Функция ротора — поддерживать циркуляцию в канаве, чтобы твердые частицы не оседали, т. е. ротор должен работать непрерывно.

Наиболее распространены канавы овальной формы или в виде кольца. Возможны и другие формы, но радиус кривизны в конце канавы не должен быть слишком мал, так как это увеличивает сопротивление потока отходов и вызывает оседание частиц. Необходимый объем канавы выбирают из расчета 1 м<sup>3</sup> на каждые 240...320 кг массы животных для того, чтобы обеспечить необходи-

мое разбавление. Время пребывания отходов в канаве около 50 сут. Объем кислорода должен составлять 0,6 кг/сут на свинью массой 90 кг.

Каждый ротор должен быть отрегулирован в воде на заданную глубину погружения, чтобы обеспечить его способность к аэрации. В практике применяют роторы с подачей от 1,95 кг кислорода на 1 м ротора при глубине погружения 15 см и частоте вращения  $100 \text{ мин}^{-1}$  до 8,5 кг на 1 м длины ротора при глубине погружения 30 см и той же частоте вращения. Для грубой оценки можно использовать такое соотношение: 1 м длины ротора при глубине погружения 15 см и частоте вращения  $100 \text{ мин}^{-1}$  обеспечивает необходимое количество кислорода для окисления отходов от 20...25 свиней конечной стадии откорма.

Глубина погружения ротора влияет на интенсивность насыщения кислородом, скорость течения жидкости, количество потребляемой энергии. От уровня жидкости в канаве зависит время пребывания твердых частиц во взвешенном состоянии. Как правило, ротор погружают на глубину, равную около  $1/3$  глубины жидкости в канаве, чтобы предотвратить осаждение твердых частиц. Глубину канавы принимают 30...60 см.

Перед эксплуатацией канаву заполняют водой, и ротор опускают на необходимую глубину. Если в канаве находится необработанный (септический) навоз, то эксплуатацию его начинать нельзя. Навоз следует вводить в канаву аккуратно, чтобы предотвратить или уменьшить вспенивание, вводя специальные антипенные вещества, такие, как растительные и минеральные масла, а также распыляя воду. При развитии в канаве микрофлоры вспенивание уменьшается, что может продолжаться до 2...3 нед. В пусковой период иногда наблюдается легкий запах аммиака. Сократить этот период можно, введя затравку (активный ил) из действующей окислительной канавы либо из системы очистки городских сточных вод.

Такая необходимость не возникает, если не очищать канаву полностью, а оставлять в ней хотя бы часть объема активного ила в качестве затравки при заполнении канавы водой перед новым циклом.

Главная трудность при эксплуатации канавы — вспенивание вследствие неполной обработки. Необходимо предусмотреть запас глубины канавы для образования пены около 30 см. Появление пены и запаха служит сигналом оператору и свидетельствует о неудовлетворительном течении процесса. Обычно при нормальной эксплуатации канаве присущ запах земли. Цвет жидкости также является показателем условий протекания аэробного окисления: темно-зеленый свидетельствует о анаэробном процессе и необходимости увеличить подачу кислорода, а густой коричневый — о нормальных условиях процесса. Если не поддерживать аэробные условия, то развивающиеся анаэробные бактерии будут способствовать

образованию запаха и пены. Перед включением ротора, который не работал более 2...3 сут, необходимо открыть помещение и включить вентиляцию.

Важное значение имеет регулярный профилактический осмотр оборудования, особенно роторных подшипников, которые могут засоряться щетиной от свиней и другими инородными материалами. Поэтому целесообразно выбирать конструкцию ротора, при которой возможны осмотр и замена подшипников.

По истечении нескольких месяцев с начала действия окислительной канавы часть ила необходимо удалить, чтобы предотвратить накопление твердых веществ, вызывающих запах.

Поскольку ротор создает гидравлический напор, входное отверстие иловой ловушки может быть размещено в канаве при выходе потока. Если входное отверстие поместить сразу после ротора, то направление потока может измениться. Как только поток попадает в ловушку, скорость его будет уменьшаться и твердые частицы начнут оседать. Иловую ловушку необходимо периодически очищать, перекачивая ил либо прямо на поля для разбрызгивания, либо на подсушку. Если иловая ловушка отсутствует, то содержание твердых веществ снижают, частично слив жидкость и разбавив оставшееся количество водой.

Содержимое окислительных канав нельзя выпускать в естественные водоемы. Его направляют в отстойник для осаждения твердых частиц, а затем в канал или хранилище для сбора воды из окислительных канав. Если необходимо, то воду перекачивают из хранилища в цистерну, а потом вывозят на поля.

Ядовитые газы и запахи, образующиеся при хранении отходов, могут вызывать раздражение как у свиней, так и обслуживающего персонала.

При хранении навоза выделяются главным образом двуокись углерода, сероводород, метан и большая группа других органических соединений. Предельно допустимая концентрация (ПДК) — это концентрация, воздействие которой на обслуживающий персонал в течение 8-часового рабочего дня на протяжении всей его трудовой деятельности не приведет к каким-либо вредным последствиям. Выражают ее в частях либо в процентах (1 % равен 10 000 ч/мин). ПДК для свиней, особенно для поросят, меньше, чем для людей, так как вредные газы действуют на них круглосуточно.

*Двуокись углерода*  $\text{CO}_2$  — газ без цвета и запаха, значительно тяжелее воздуха, хорошо растворим в воде. В атмосферном воздухе содержится около 0,03 %  $\text{CO}_2$ , в свиномарке в результате дыхания свиней и разложения навоза выделяется избыточное количество  $\text{CO}_2$ . В вентилируемом свиномарке концентрация  $\text{CO}_2$  составляет 0,6...1,8 %. В помещении без вентиляции через 6 ч концентрация  $\text{CO}_2$  достигает более 4 %. ПДК для  $\text{CO}_2$  составляет 0,5 %. Концентрации  $\text{CO}_2$  около 10 % вызывают удушье, а более высокие — наркотическое действие. Смерть может наступить через 4 ч пребывания в помещении с концентрацией  $\text{CO}_2$  25 % и более.

*Аммиак*  $\text{NH}_3$  — бесцветный газ с характерным едким запахом. Он легче воздуха и хорошо растворим в воде, не горит, но воздушная смесь, содержащая более 16 % аммиака, взрывоопасна. Аммиак выделяется как из свежего навоза, так и из находящегося в состоянии анаэробного разложения. В свинарниках с решетчатыми полами его концентрация меньше, чем в помещении с твердыми полами. В вентилируемых свинарниках концентрация аммиака составляет до  $3,5 \cdot 10^{-3} \%$ , а без нее — до  $1,76 \cdot 10^{-2} \%$ . ПДК для человека установлена  $5 \cdot 10^{-3} \%$ , но в течение нескольких часов концентрация  $\text{NH}_3$  может повышаться до  $(5...10) \cdot 10^{-3} \%$  без оказания на человека каких-либо серьезных последствий.

Концентрация 0,5 % может вызывать у свиней удушье, 0,01...0,02 % — чиханье, слюнотечение и потерю аппетита. Длительное воздействие высоких концентраций может повысить восприимчивость свиней к респираторным заболеваниям.

*Сероводород*  $\text{H}_2\text{S}$  — бесцветный газ с запахом тухлых яиц, несколько тяжелее воздуха, растворим в воде, горит синеватым пламенем, образуется при разложении органических отходов в анаэробных условиях. В нормальных вентилируемых свинарниках его концентрация составляет  $9 \cdot 10^{-6} \%$ , через 6 ч после отключения вентиляции она возрастает до  $2,8 \cdot 10^{-6} \%$ . Опасные концентрации могут образоваться при интенсивном перемешивании хранимых жидких отходов. Были отмечены концентрации до 0,02...0,03 % через несколько минут после перекачки отходов из резервуара-хранилища и до 0,08 % в течение интенсивного перемешивания. О присутствии сероводорода свидетельствуют характерное почернение медных частей оборудования в результате образования сульфида меди либо появившийся белый осадок сульфида никеля на оцинкованной стали, а также почернение свинцовых красок.

Сероводород — один из наиболее токсичных газов, образующихся при хранении жидких отходов, даже в небольших концентрациях. Его специфический запах не служит предостережением, так как чувствительность к нему быстро снижается, и сила запаха не возрастает пропорционально концентрации сероводорода. ПДК его 0,001 %. Высокие (до 0,08..0,1 %) концентрации сероводорода вызывают немедленную потерю сознания и смерть в результате паралича дыхания.

Продолжительное воздействие низких концентраций сероводорода также может вызвать неприятные последствия. Например, постоянное пребывание в помещении с концентрацией сероводорода до 0,002 % вызывает у свиней боязнь света, потерю аппетита, нервозность, а свыше 0,002 % — рвоту и понос. После воздействия высоких концентраций сероводорода на свиней их можно привести в нормальное состояние, но они будут предрасположены к пневмонии и другим респираторным заболеваниям.

*Метан*  $\text{CH}_4$  — бесцветный газ, не имеющий запаха, значительно легче воздуха, плохо растворим в воде и легко воспламеняется. Он

образуется при анаэробном разложении навоза. При наличии хорошей вентиляции он легко удаляется из помещения, обычно в свинарниках его концентрация значительно ниже опасной, равной 5 %.

*Особо опасные ситуации* возникают при хранении отходов, выделяющих газы. Они могут вызывать смертельный исход как для свиней, так и для людей. Например, отмечена гибель свиней при поломке вентиляции в свинарнике, когда жидкий навоз интенсивно перемешивали в навозной яме, расположенной под решетчатыми полами, или когда животное падало в яму. Люди умирали, входя в хранилище, в котором не работала вентиляция.

При остановке вентиляции в плотно закрытом свинарнике свиньи могут погибнуть от удушья вследствие недостатка кислорода и увеличения концентрации углекислого газа или от теплового удара. Условия становятся критическими при уменьшении концентрации кислорода с 21 % (нормальная концентрация) до 10 % и менее. Свинарники должны быть оборудованы системами безопасности и предупреждения обслуживающего персонала при отказе вентиляционной системы. Нельзя входить в хранилище, которое предварительно не провентилировано, и без специальной маски. Необходимо также подстраховывать оператора веревкой, чтобы вытащить его при первых сигналах опасности.

## **4.2. ПЕРЕРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ**

Разведение дождевых червей с целью получения биогумуса (вермикультуры) способствует выращиванию экологически чистой продукции растениеводства.

Природе известны около 6...8 тыс. видов дождевых червей. В почвах нашей страны их насчитывают только 97 видов.

Для производства вермикультуры пригодны не все существующие в природе дождевые черви, а только их некоторые виды.

Все дождевые черви гермафродиты, т. е. у каждого взрослого червя имеются одновременно и мужская, и женская половые системы. После оплодотворения у дождевого червя образуется кокон с яйцами, откладываемый ими в окружающий субстрат. Из каждого кокона выводится около 20 дождевых червей молодого потомства. В живых остаются около 4...6. Через 3 мес вылупившиеся из кокона дождевые черви становятся половозрелыми.

Обитающие в природе дождевые черви склонны к миграции в поисках пищи, а также партнера в период полового созревания. К тому же они недостаточно плодовиты и продуктивны.

В результате двадцатилетней селекционной работы в США была выведена новая разновидность дождевого червя, так называемого красного калифорнийского гибрида, пригодного для промышленного разведения.

С 1979 г. этот гибрид начали применять для обезвреживания органических отходов в странах Западной Европы. В России появился интерес к вермикультуре в 1991 г. Наиболее широко вермикультивирование распространено в западных странах, например только в США насчитывается 30 тыс. мелких и крупных хозяйств, в которых различные органические отходы перерабатываются с помощью дождевых червей. Есть такие хозяйства и в Великобритании, Нидерландах, Польше, Венгрии, Японии, Италии и т. д. Вермикультивированием занимаются также на Украине, в Киргизии, в Российской Федерации.

Красный калифорнийский червь в отличие от обычного (дикого) чрезвычайно активен и плодовит, он «домосед» и при наличии пищи практически не расползается. Его длина до 9 см, диаметр тела 3...5 мм, масса в 4 раза больше массы обычного дождевого червя.

Оплодотворение в оптимальных условиях (температура субстрата 20...25 °С, влажность 70...80 %, рН 7...8 и достаточная аэрация) происходит каждые семь суток. Калифорнийский гибрид тоже гермафродит, т. е. имеет органы размножения самца и самки, но для оплодотворения необходим партнер. Цвет его темно-красный.

После оплодотворения откладывается капсула с яйцами (до 20 штук), и через 14...20 сут появляется новое поколение. Новорожденные черви достигают половой зрелости через 90 сут. В оптимальных условиях потомство калифорнийского червя может достигать 1500 особей в год.

Каждый день калифорнийский червь поедает органическое вещество в количестве, равном массе своего тела. Из 1 т органических отходов производят 600 кг биогумуса и до 100 кг белковой биомассы. Питанием для калифорнийских червей служат любые органические вещества — навоз, солома, трава, опавшая листва, ветки деревьев, опилки, ботва, отбросы кухни, содержимое выгребных ям, картон, бумага и др. Однако органику для червей готовят заранее, так как они питаются за счет губового беззубого ротового отверстия, всасывая пищу. Поэтому органические отходы складывают в кучи и некоторое время поливают водой для того, чтобы начался процесс ферментации, сопровождающийся повышением температуры. Желательно массу при складировании в кучу опудривать мелом, гашеной известью или доломитовой мукой, так как дождевые черви не любят кислой среды.

Вермикультивирование осуществляют как в закрытых помещениях, так и под открытым небом.

Все расчеты, связанные с устройством гряд, кормлением червей, уходом за ними, сбором продукции, делают на так называемую стандартную гряду размером 2 × 1 м, называемую ложем.

Плотность заселения ложа колеблется от 30 до 100 тыс. взрослых и молодых дождевых червей, включая их коконы с яйцами. На одно ложе требуется около 1 т органических отходов в год. При этом на удовлетворение жизненных потребностей дождевых червей идет

около 40 % питательного субстрата, а 60 % выделяется в виде капролитов, т. е. биогумуса. Таким образом, одно ложе дождевых червей способно выдать ежегодно 0,4...0,6 т биогумуса и около 0,1 т биомассы червей.

Ложе лучше всего размещать на участках с некоторым уклоном, чтобы не образовывались лужи во время дождей.

Желательно, чтобы подстилающая почва участка была песчаной или каменистой и чтобы он был защищен от ветров.

Проводя обследование территории, отводимой под ложе, необходимо обращать внимание на наличие на ней следов крота, так как он является злейшим врагом дождевых червей. Для защиты вермикультуры от кротов дно лож выстилают металлической сеткой с ячейками размером 15 × 15 мм. Сетку по краям приподнимают, установив деревянные колышки.

Для занятия вермикультурой достаточно иметь самый обычный инвентарь: вилы, лопату, шланг для полива, рН-метр или лакмусовую бумагу для определения кислотности почвы, термометр.

Наиболее благоприятное время для разведения червей — весна, лето и ранняя осень.

Органические отходы, подготовленные для переработки дождевыми червями, размещают на поверхности почвы или в неглубокой траншее.

Следует отметить, что дождевые черви чувствительны к аммиаку и высоким температурам. Поэтому в качестве корма надо использовать остывший навоз, прошедший процесс ферментации. Другие органические отходы также должны быть частично разложившимися. Установлено, что при содержании аммиака свыше 0,9 мг на 1 кг субстрата черви погибают. Так, навоз кроликов пригоден к переработке через 5...10 сут, конский — через 2...4 мес, а навоз КРС — через 5...6 мес. В Дании навоз выдерживают в специальных установках в течение 5 сут при температуре 60 °С и после этого используют в качестве корма для червей.

В навоз, образующийся в животноводческих комплексах с бесподстилочным содержанием скота, перед его переработкой с помощью дождевых червей необходимо добавлять измельченную солому, древесные опилки, макулатуру и другие растительные и пищевые отходы.

Перед заселением подготовленного ложа дождевыми червями отходы поливают водой, укладывают сверху слой навоза или пищевые отходы и только после этого приступают к заселению. Также рекомендуется провести испытание субстрата на пригодность в качестве пищи для червей. Для этого берут 50 червей и кладут на поверхность субстрата: если в течение 10...15 мин дождевые черви заглубляются в субстрат, то он пригоден для вермикультивирования.

При выращивании маточной культуры плотность заселения дождевыми червями должна составлять 1000...1500 экземпляров на 1 м<sup>2</sup>. Известны следующие нормативные данные: 1 ложе —

2 м<sup>2</sup> — 100 000 особей. Годовая потребность в корме 1200 кг. Годовое производство биогумуса 600 кг. Годовое производство червей 8...10 лож.

Уход за вермикультурой достаточно прост, малотрудоемок и не требует крупных материальных затрат. Органическую массу с червями в зависимости от погоды поливают 2...3 раза в неделю и 1 раз в 10 сут сверху добавляют питательный субстрат слоем толщиной 5...10 см. При вермикультивировании в траншеях органическую массу периодически рыхлят.

Следует помнить, что для поддержания влажности лучше поливать малыми нормами, но часто. Переувлажнять вермикультуру не рекомендуют.

При недостатке пищи черви могут уползть, а при избытке ее затрудняется газообмен. Переувлажнение приводит к аналогичным последствиям. Необходимо постоянно следить за ростом и развитием червей, для этого подсчитывают червей и определяют их биомассу в следующем порядке. В разных местах ложа в шахматном порядке берут несколько проб субстрата с червями на всю глубину с площадью 10 × 10 см. Из взятых проб выбирают всех червей, подсчитывают их число и определяют массу. Затем средние результаты расчетов умножают на 100 и таким образом получают численность червей на 1 м<sup>2</sup>. Для отбора проб удобно пользоваться трехрожковыми огородными вилами с шириной захвата 10 см.

Для уничтожения муравьев, поедающих сахара и жиры, содержащиеся в отходах, можно использовать химические препараты на основе серы.

Отбор полученного биогумуса в условиях индивидуального хозяйства не представляет большого труда. Черви, перерабатывая органическую массу ложа, передвигаются постепенно снизу вверх. Поэтому следует их продержать несколько суток на голодном пайке, а затем уложить слой субстрата толщиной 5...7 см. Через двое суток основная масса червей перейдет в этот слой. Его снимают вместе с червями и переносят в новое ложе. Операцию повторяют 3 раза. В результате из ложа будет отобрано около 95 % популяции. Червей из гумуса можно отделить и механически, просеивая массу на сите с ячейками размером 2 мм.

Отделенных червей используют для заселения новых лож с субстратом, а их избыток — на корм птице или на подкорм рыбы, свиной и т. д.

Периодичность отбора червей зависит от состояния вермикультуры и составляет 45...60 сут.

За год с 1 м<sup>2</sup> участка собирают в среднем 600...900 тыс. дождевых червей. Следовательно, с участка площадью 50 м<sup>2</sup> можно собрать 3...5 млн червей в год. Червей можно также разводить в ящиках на балконах, в подвалах, гаражах. При разведении в темных помещениях необходимо устраивать хотя бы слабое освещение. В случае вермикультивирования в помещении не следует бояться неприят-

ного запаха: он исчезнет после заселения червями. Зимовать черви могут на улицах в тех же ложах, где они развивались летом. В этом случае их надо хорошо укрыть. Компост обкладывают досками, но не соломой, так как в ней могут завестись крысы и мыши, и ложе по возможности следует укрыть со всех сторон мелкой металлической сеткой. При наличии относительно теплых помещений вермикультуру помещают в обычные тарные ящики и переносят в помещение для зимовки. Ящики можно поставить штабелями или на стеллажи. Периодически их надо поливать и добавлять свежий корм, а при необходимости отбирать биогумус.

С помощью дождевых червей органические отходы можно в 14 раз быстрее превратить в биогумус, содержащий питательные элементы в доступной для растений форме. Ценные особенности биогумуса — зернистая структура, устойчивая к размывающему действию воды, отсутствие семян сорняков, легкая усвояемость растениями.

Вермикомпосты созревают быстрее, чем компосты, получаемые традиционным способом. Черви перерабатывают отходы и тем самым увеличивают площадь контакта органики с микроорганизмами, участвующими в разложении отходов. Черви создают благоприятные условия и для деятельности микроорганизмов, подавляющих развитие патогенных бактерий, в частности сальмонеллы, что способствует обеззараживанию компоста. Больших различий между компостами и вермикомпостами не отмечено. Однако вермикомпосты в 10 раз и более содержат доступных для растений питательных веществ. Поэтому биологический гумус в десятки раз эффективнее любого органического удобрения, а биомасса червей содержит целый ряд веществ и при скармливании животным способствует значительному повышению их продуктивности. При выращивании такой высокобелковой культуры, как клевер, с 1 га можно получить 1,1 т переваримого протеина. В то же время из выращенных на 1 га червей получают до 4 т белковой муки. Если же эту органику использовать для производства биогумуса, то им можно с большим эффектом удобрить не менее 1 тыс. га. По данным итальянских исследований, для вермикомпостов характерно обилие полезных микроорганизмов, а также энзимов, продуцирующих биологически активные вещества.

В 1 г вермикомпоста насчитывается до  $1,7 \cdot 10^{17}$  микроорганизмов, большую часть которых составляют актиномицет и нитрифицирующие бактерии. Внесение таких компостов стимулирует биохимические почвенные процессы и увеличивает численность животных в почве.

Компост, получаемый из отходов методом вермикультуры, действует как почвоулучшитель. Его применение высокоэффективно в овощеводстве, цветоводстве, садоводстве, виноградарстве. Вермикомпост способствует ускорению прорастания семян овощных культур, повышению устойчивости растений к болезням, сниже-

нию стресса при пересадке рассады, сокращению срока созревания плодов и овощей, улучшению вкусовых качеств, а также их товарного вида. Интерес к дождевым червям во всем мире объясняется загрязнением природной среды химическими веществами, применяемыми в сельском хозяйстве. Черви же и их продукт (биогумус) могут обеспечить повышение почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур без применения химических удобрений и ядохимикатов. Специалисты Великобритании считают, что содержащиеся в вермикомпостах микроорганизмы способствуют переводу токсичных форм тяжелых металлов в малоподвижные соединения.

В связи с этим особое значение вермикомпосты имеют для почв, утративших способность к самоочищению из-за сильного загрязнения их пестицидами, выбросами и отходами промышленных предприятий. Повышая детоксикационные свойства почв, вермикомпосты способствуют возвращению сельскому хозяйству участков, непригодных для использования из-за сильного загрязнения. Хороший эффект в этом случае дает заселение самих дождевых червей в почву загрязненных участков. Почвенные микроорганизмы, простейшие и дождевые черви образуют единую биологическую цепь: микроорганизмы являются источником питания для простейших. При этом активность микроорганизмов не подавляется, а, наоборот, стимулируется.

Биогумус, внесенный в почву, снижает ее кислотность. Важно и то, что фосфор и азот, содержащиеся в биогумусе, очень быстро усваиваются растениями.

Оптимальные дозы внесения биогумуса: 3...4 т чистого биогумуса или 4...5 т неочищенного компоста на 1 га пашни. Так как переудобрить почву биогумусом невозможно, то дозы (максимальная 4 т/га) внесения принимают условно.

---

## **5. ПЕРЕРАБОТКА И ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ (РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ОТХОДОВ)**



Как отмечалось ранее, все образующиеся в результате жизнедеятельности человека отходы классифицируют на отходы производства и потребления. Но не все образующиеся отходы, а только их часть можно отнести к вторичному сырью. Согласно определению, данному в Большой Советской Энциклопедии, вторичным сырьем считают материалы и изделия, которые после первоначального полного их использования (износа) можно применять повторно как исходное сырье.

**Промышленные отходы.** До 1990 г. в б. СССР в системе Госнаба существовала эффективная система учета и использования вторичного сырья, которую считали мощным фактором ресурсосбережения. В частности, в целях получения достоверной информации о состоянии вторичных ресурсов Госнаб б. СССР ежегодно собирал сведения о наличии и использовании вторичных материальных ресурсов на основе данных главных отраслевых территориальных управлений. В отраслевых сводках были отражены данные о накоплении вторичных материальных ресурсов, их использовании, объемах продукции, изготавливаемой из вторичного сырья, прибыли, получаемой от реализации отходов и экономии первичного сырья. Для оказания эффективной помощи в вопросах ресурсосбережения и использования вторичного сырья при Госнабе б. СССР функционировал специализированный институт вторичных ресурсов (ВИВР), который имел филиалы. При советах министров союзных республик и исполкомах областных Советов на постоянной основе работали комиссии по рациональному использованию и экономии материальных ресурсов, что способствовало постоянному повышению использования вторичных ресурсов (табл. 5.1).

#### 5.1. Использование вторичных ресурсов в СССР за 1987...1988 гг.

Вид вторичного ресурса	Объем образованных вторичных ресурсов, %	
	1987 г.	1988 г.
Макулатура	45,4	92,1
Материалы текстильные вторичные	68,5	84,4
Зола и золошлаковые отходы тепловых электростанций	91,6	95,8
Стеклобой	79,7	92,3
Сырье полимерное вторичное	77,0	80,3
Шины изношенные	32,6	69,3
Древесные отходы	74,2	75,3

Централизованная государственная система учета, сбора и использования вторичных ресурсов в РФ практически отсутствует. При переходе к рыночной системе хозяйствования не были созданы условия, которые стимулировали бы использование вторичных ресурсов в производственной деятельности. Специализированные предприятия, занимавшиеся переработкой вторичных материалов, акционировались и частично перешли на другие виды деятельности. Разрушение централизованной системы сбора и переработки отходов и общее падение промышленного производства в последние годы резко снизили объемы их использования (табл. 5.2).

## 5.2. Объемы образования и использования некоторых видов промышленных отходов в Москве, т

Вид промышленного отхода	Объемы образования			Объемы использования		
	1990 г.	2000 г.	$K = \frac{2000}{1990}$	1990 г.	2000 г.	$K = \frac{2000}{1990}$
Макулатура	36883	18576	1,99	8869	765	11,59
Материалы текстильные	11957	3677	3,25	15552	1603	9,7
вторичные						
Сырье полимерное	6926	1739	3,98	10670	1342	7,95
вторичное						
Шины изношенные	4633	3199	1,45	4190	2673	1,57
Древесные отходы	434414	191412	2,30	365288	180424	2,03
Стеклобой	10864	5555	1,96	10864	5202	2,08

**Отходы потребления.** В отличие от промышленных отходов объем образования твердых бытовых отходов (ТБО), по данным АКХ им. К. Д. Памфилова, остается практически неизменным на протяжении 8...10 лет. Сохранение объемов образования твердых бытовых отходов связано в первую очередь со значительным увеличением объема потребления импортных продовольственных и промышленных товаров в современной упаковке.

Основную массу ТБО составляют бумага и картон, а также пищевые отходы. Однако в последнее время доля пищевых отходов в ТБО значительно уменьшается, доля макулатуры и полимеров увеличивается (табл. 5.3).

## 5.3. Состав и годовой объем ТБО Москвы в 1990...1999 гг.

Вид отхода	Объем накопления, т в год	Относительное содержание различных отходов в ТБО, %
Макулатура	925000	37,4
Текстиль	135000	5,4
Полимеры	135000	5,4
Древесные отходы	47000	1,9
Стекло и стеклобой	100000	4,0
Пищевые отходы	650000	26,0
Резина, кожа	50000	2,0
Металл	75000	3,0
Камни, керамика	100000	4,0
Прочие	272500	10,9
Итого	2489500	100,0

Как видно из приведенных таблиц, такие виды отходов, как макулатура, стеклобой, вторичные текстильные и полимерные материалы, отходы, образующиеся в сфере бытового потребления, в десятки раз превышают объемы аналогичных отходов, образующихся в сфере промышленного производства.

Наряду с традиционными видами отходов в последнее время появляются и новые их виды, в частности, актуальной стала проблема утилизации брошенного автотранспорта. Основными критериями выбора видов отходов, на которые нужно обращать внимание при разработке концепции их использования в качестве вторичного сырья, должны стать объемы образования отходов, перспективы увеличения, влияние на экологию и загрязнение города, возможность эффективного вторичного использования. На основании анализа вышеуказанных факторов для крупных городов России необходимо в ближайшие годы (до 2010 г.) сосредоточить внимание на заготовке и переработке вторичных ресурсов из отходов, суммарная доля которых в общем количестве промышленных и бытовых отходов составляет около 50 %: макулатура бумажная и картонная; амортизированные резины и изношенные шины; отходы кожи; полимерные отходы; текстильные отходы; стеклобой; отработанные моторные масла; строительные отходы; амортизированные и брошенные автомобили.

Вовлечение отходов в промышленную переработку в качестве вторичного сырья сократит объемы их вывоза на полигоны, мусоросжигательные и мусороперерабатывающие заводы, что в конечном результате существенно уменьшит негативное воздействие отходов на окружающую среду.

## **5.1. ПЕРЕРАБОТКА И ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКУЛАТУРЫ**

В отечественных технологиях макулатуру используют в основном при изготовлении различных видов бумаги и картона в целлюлозно-бумажной промышленности и в промышленности строительных материалов при производстве кровельных материалов и различных строительных плит.

В развитых странах макулатура является важнейшим источником волокнистого сырья в целлюлозно-бумажной промышленности. Основные виды продукции, вырабатываемой за рубежом с использованием макулатуры: упаковочные виды бумаги и картона; газетная, писчая, печатная и санитарно-гигиеническая бумага. При производстве строительных материалов макулатуру используют главным образом для кровельных, гидроизоляционных и теплоизоляционных материалов.

В США в конце 70-х годов была разработана технология производства огнестойкого гидроизоляционного материала на основе измельченной макулатуры и огнестойкого адгезива — эковаты, которую в увлажненном состоянии наносят на конструкции домов, заменяя токсичную теплоизоляцию из стекловолокна на фенольных смолах.

За рубежом широко распространены композиции для производства теплоизоляционных плит на основе перлита, в состав которых в качестве армирующего компонента входит макулатура.

Также из макулатуры, выделенной из ТБО, получают гранулированное, брикетированное и порошкообразное твердое, а также жидкое и газообразное топливо.

В Германии на опытной установке «Биаль» получают из макулатуры, отходов древесины и соломы топливный спирт — этанол.

В результате научно-исследовательских работ, проведенных в последние годы, установлено, что при внесении макулатуры в почву повышается ее влагоемкость, улучшаются структура и условия обработки. Однако в процессе перегнивания макулатуры отмечено некоторое обеднение почвы азотом, что требует дополнительного внесения азотсодержащих веществ.

Фирма Calspan Corporation (США) разработала способ получения удобрения из макулатуры, обогащенной азотом, методом нитрования. Измельченную макулатуру обрабатывают азотной кислотой и выдерживают определенное время, достаточное для получения продукта, содержащего 5...10 % азота. Полученный продукт подвергают нейтрализации гидроокисью калия или кальция, окисью кальция и углекислым кальцием, вводят дополнительные компоненты — калий и кальций. Удобрение может также содержать фосфор, если измельченную макулатуру обрабатывать смесью азотной и фосфорной кислот.

Макулатуру используют в смеси с другими удобрениями для снижения вымываемости удобрения из почвы и, следовательно, повышения урожайности. В этом случае макулатуру, опилки и другие целлюлозосодержащие материалы обрабатывают полимерами, придавая им свойства пониженной смачиваемости.

В числе новых направлений использования макулатуры следует выделить изготовление из нее теплоизоляционных и конструкционных материалов, технологию производства которых разработали специалисты ГП «Промотходы». По этой технологии производят теплоизоляционные материалы различной конфигурации и используемые в разных целях, заменяя пенополистирол.

Крупнейшие производители теплоизоляционных и конструкционных материалов, использующих макулатуру, — заводы «Стройполимер» и «Стройперлит» (г. Мытищи), Воскресенский завод минеральной ваты, Ступинский завод ячеистых бетонов, Красногорский завод стройматериалов и др. Их продукция имеет высокое качество, но этих материалов недостаточно для полного обеспечения строительства в регионе. Поэтому на рынок России вышли зарубежные фирмы.

Теплоизоляционный материал выпускают в виде плит различных размеров и толщины (30...100 мм). Технические условия предусматривают выпуск плит марок «200», «250», «300» соответственно плотностью 200, 250, 300 кг/м<sup>3</sup>. Физико-механические характе-

ристики теплоизоляционных материалов приведены в таблице 5.4. Конкуренентоспособность теплоизоляционных материалов, изготовленных из макулатуры с использованием вяжущих материалов из вторичных полимеров, определяется их сравнительно невысокой стоимостью за счет дешевизны используемого сырья (отходов), хорошими физико-механическими свойствами, не уступающими традиционным материалам и превосходящими их по экологической безопасности.

#### 5.4. Физико-механические показатели плит из различных теплоизоляционных материалов

Показатель	Плиты			
	перлитофосфогелевые	перлитопластбетонные	минеральные	на основе бумажной макулатуры
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	200...300	100...175	250...350	200...300
Предел прочности, МПа:				
при 10%-м сжатии	0,35...0,6	0,12...0,4	—	0,25...0,5
при изгибе	0,2...0,7	0,18...0,48	0,1	0,5...1,0
Водопоглощение за 24 ч, %	5	4...11	—	5
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,064...0,082	0,034...0,04	0,089	0,046...0,075

Выпускаемые теплоизоляционные материалы предназначены для теплоизоляции (пола, стен, кровли, холодильных камер и т. п.) при строительстве жилых, промышленных и культурно-бытовых зданий.

Необходимо отметить, что около 50 % общей потребности теплоизоляционных материалов обеспечивается плитными изделиями, остальные 50 % и более — засыпным материалом. Большинство плитных теплоизоляционных материалов изготавливали на основе перлита Арагацкого месторождения (Армения), поставки которого в настоящее время затруднены или полностью прекращены.

Повышение требований к теплоспротивлению ограждающих конструкций и переход в связи с этим на трехслойные панели резко увеличили потребность в эффективных теплоизоляционных материалах. Потребителями таких материалов могут быть домостроительные комбинаты и заводы ЖБИ, выпускающие наружные стеновые панели для крупного панельного домостроения.

Плиты, поверхность которых облагорожена под ценные породы древесины методом трафаретной и глубокой печати, нанесения покрытий эмалью, красками, текстурной бумагой, фанерой, пластиками, лаком, тиснением в горячем прессе, могут быть использованы в качестве отделочного материала.

Исходя из рекомендаций федеральной комплексной программы «Экологическая безопасность России», в основу создания системы

сбора и переработки неопасных отходов необходимо закладывать системы селективной формы сбора отходов потребления. Этот принцип позволит снизить затраты на подготовку вторичных ресурсов и их переработку.

Система сбора и переработки отходов должна включать стационарные производственно-заготовительные предприятия (ПЗП); стационарные и передвижные приемные пункты; контейнерный парк; транспортные технические средства; погрузочно-разгрузочное оборудование; технологическое оборудование.

Число приемных пунктов зависит от численности населения, например, в Европе принято, что один приемный пункт обслуживает около 10 тыс. жителей.

Отходы, образующиеся на промышленных предприятиях и в других крупных источниках их образования, как правило, собирают на основе прямых договоров между поставщиком отходов и перерабатывающими предприятиями. Наиболее перспективный метод сбора отходов, образующихся в сфере бытового потребления и в мелких компактных источниках с объемом образования отходов 5...10 т в год, — селективный сбор отходов в специализированные контейнеры.

Селективный сбор отходов у населения способствует сокращению объемов мусора, вывозимого на свалки, что, в свою очередь, позволит хотя бы частично финансировать этот метод сбора отходов за счет средств, выделяемых на их вывоз и захоронение, коммунальными службами города.

## **5.2. ТЕКСТИЛЬНЫЕ ОТХОДЫ И ИХ ПЕРЕРАБОТКА**

Текстильные отходы также разделяют на отходы производства и потребления.

Текстильные отходы производства — это отходы технологических процессов производства волокон, нитей, тканей и швейных изделий.

Текстильные отходы потребления — это в первую очередь вышедшая из употребления одежда, которая в конечном итоге оказывается в городском мусоре (ТБО) и составляет 4...6 %.

Текстильные отходы производства по видам сырья принято разделять на три основные группы:

первая — текстильные отходы из натурального сырья (хлопковое волокно, льняное волокно, шерсть, натуральный шелк);

вторая — текстильные отходы из химического сырья (химические нити и волокна искусственные и синтетические);

третья — текстильные отходы из смешанного сырья (смеси на основе натуральных и химических волокон).

Отходы текстильной промышленности подразделяют в зависимости от их дальнейшего использования: прядомые, употребляе-

мые в смеси с основным сырьем на выработку пряжи; ватные, перерабатываемые в смеси с основным сырьем в вату; валяльно-войлочные, перерабатываемые в нетканые текстильные материалы; непрядомые, используемые в виде весовых лоскутов тканей.

Текстильные отходы образуются на предприятиях текстильного производства на различных технологических стадиях.

На предприятиях *хлопчатобумажной промышленности* в процессе переработки хлопка, а также в прядильном, ткацком, отделочном и ватном производствах образуются хлопчатобумажные отходы, большую часть которых используют в собственном технологическом цикле.

Отходы *промышленности по производству шерсти* представляют собой отходы, образующиеся при первичной обработке шерсти, изготовлении шерстяной пряжи, шерстяных тканей, часть которых используют в собственном технологическом цикле, а другую — как вторичное сырье.

В *трикотажной промышленности* образуются отходы при переработке пряжи, изготовлении трикотажного полотна и изделий из него, производстве носочных и перчаточных изделий, большая часть которых используется как вторичное сырье.

В *швейной промышленности* отходы образуются в процессе подготовки материалов и самого раскраивания деталей швейных изделий, представляющий собой весовой лоскут тканей и используемый в качестве вторичного сырья для производства вторичных текстильных материалов.

Количество текстильных отходов потребления в составе ТБО превышает текстильные отходы производства. Их можно считать одним из основных источников вторичного сырья для получения вторичных текстильных материалов.

Текстильные отходы потребления имеют смешанный состав, не разделены по типам волокон, часто загрязнены и представляют собой весовой лоскут тканей.

Для сокращения объемов отходов, удаляемых на свалки и полигоны ТБО, и уменьшения их негативного влияния на окружающую среду текстильные отходы необходимо вовлекать в материальное производство в качестве вторичного сырья. Любая технология переработки текстильных отходов должна включать стадии подготовки вторичного текстильного сырья, состав операций которой зависит от источника поступления сырья и его дальнейшего использования. Так, подготовка вторичного сырья, поступающего от населения, включает следующие технологические операции: дезинфекцию, обеспыливание, сортировку, стирку или химчистку, резку и разволокнение. При подготовке вторичного текстильного сырья, поступающего из сферы производства, такие технологические операции, как дезинфекция, обеспыливание, стирка или химчистка, отпадают.

Большую часть текстильных отходов производства и потребления используют в качестве вторичного сырья при выработке нетка-

ных материалов. Технологический процесс производства нетканых материалов состоит в основном из четырех этапов: подготовка волокна (разволокнение, очистка, смешивание), формирование волокнистого холста, закрепление волокон в холсте, обработка полученного материала и его отделка.

Существует достаточно видов продукции, получаемой из текстильных отходов производства и потребления, — это утеплители различного назначения, канаты, шнуры, шпагаты, мешочные ткани и другие изделия.

Паклю бельную (ТУ 17 РСФСР 1879—68) вырабатывают из отходов вытряски двух сортов: I сорт — из отходов пенькового волокна (без примеси отходов других волокон); II сорт — из смеси отходов льняных, джутовых, кенафных и других волокон (без примесей луба).

Паклю смоляную (ГОСТ 16183—70) изготавливают из отходов (вытряски и коротких волокон льна, пеньки, кенафа) в виде ленты, которую пропитывают древесной смолой с добавлением керосина для создания требуемой консистенции пропиточного материала.

Продукция, изготавливаемая из отходов льняной промышленности, может быть представлена холстопрошивными неткаными и иглопробивными неткаными материалами:

холстопрошивные нетканые материалы (ГОСТ 17923—72) используют для теплоизоляционных прокладок, производства утепленного линолеума, прокладок в мебели, швейных изделиях и для других целей. Изготавливают их из отходов льняной промышленности (вытряска, гребенные очесы и т. п.);

иглопробивные нетканые материалы из волокнистых отходов используют как прокладочный материал.

Иглопробивное полотно представляет собой двухслойный нетканый материал, состоящий из теплозвукоизолирующего и биостойкого слоев. Теплозвукоизолирующий слой состоит из натуральных волокон — восстанавливаемая шерсть (разволокненные промышленные отходы и шерстяное тряпье) и отходы искусственных волокон, а биостойкий слой — отходов синтетических волокон. Установлено, что наиболее устойчивыми к действию микроорганизмов являются полиамидные (капроновые), полиэфирные (лавсановые), полиакрилонитрильные и поливинилхлоридные волокна.

Отходы шелковой промышленности используют для производства нетканых материалов. Ориентировочный состав смесей, применяемых при производстве нетканых материалов, по видам волокон следующий: 100 % отходов вискозного волокна; 80 % отходов лавсана + 20 % отходов вискозного волокна; 100 % отходов волокна нитрон; 80 % отходов нитрона + 20 % отходов вискозного волокна; 50 % отходов вискозного волокна + 50 % отходов волокна нитрон.

Нетканые полотна, получаемые по иглопробивной технологии, содержащие вискозно-лавсановый очес и вискозный пух, исполь-

зуют в качестве основы защитно-покровного материала, применяемого для тепловой изоляции. Полотно типа фланель, в котором основным компонентом является вискозный очес, используют для упаковки радиоаппаратуры. По холстопрощивной технологии из отходов шелковой промышленности разработан ассортимент нетканых полотен, включающий полотна для упаковки химических волокон и шерсти, сыпучих материалов и радиоаппаратуры, полотна для тепловой изоляции и обтирочные полотна. Нетканые полотна, полученные клеевым способом, используют для прокладок в швейной промышленности, а также как основу для искусственных кож полиграфических материалов.

Разработана композиция ИФП «Регвин-Ф» для дренажных конструкций с использованием регенерированных химических волокон из бытовых изношенных изделий, применяемая в качестве фильтрующего элемента для обкладки пластмассовых дренажных труб.

Из отходов трикотажного производства изготавливают свыше 200 наименований изделий.

Разработана технология получения ацетилцеллюлозных пластмасс из ацетатных и триацетатных отходов.

Имеется технология переработки путанки и концов пряжи нитей из химических и смешанных волокон для производства нетканых материалов. Разработана отечественная технология производства нетканых материалов из трикотажных обрезков и лоскута полотна. Получаемые нетканые материалы из отходов используют в швейной промышленности в качестве утепляющего материала — ватина; в обувной промышленности — прокладок при производстве обуви и верха для домашней обуви; в мебельной промышленности — настилочного материала при производстве мягкой мебели; в строительстве — напольной выкладки, прокладочных и изоляционных материалов и при выполнении других строительных работ.

### 5.3. ОТХОДЫ КОЖИ И ИХ ПЕРЕРАБОТКА

Кожевенные отходы разделяют на отходы кожевенно-обувного производства и отходы потребления.

**Отходы кожевенно-обувного производства.** Это остатки шкур, кожи, полуфабрикатов, материалов, образующихся в процессе переработки исходного материала.

Отходы данного вида подразделяют на возвратные, используемые и неиспользуемые непосредственно в данном производстве, и безвозвратные.

*Возвратные, используемые непосредственно в производстве,* — это отходы, которые может использовать само предприятие для изготовления продукции основного или вспомогательного производства: недубленые отходы (мездра, краевые участки шкуры, обрезь

голевая, сало-сырец и др.) и дубленые отходы (обрезь, лоскут, спилковая обрезь и др.).

*Возвратные, неиспользуемые в производстве*, — это отходы, которые могут быть потреблены самим предприятием лишь в качестве топлива или реализованы на сторону: хромовая стружка, спилковая голевая обрезь, обрезь от кож для низа обуви и другие отходы.

*Безвозвратные* — это отходы, которые не могут быть использованы при данном состоянии техники и технологии, — технологические потери, связанные с усушкой, улетучиванием, вымыванием водой белков в отходных стоках, растворителей, других химических материалов, жиров, ушедших со сточными водами, и им подобных материалов.

Кроме того, отходы кожевенно-обувного производства классифицируют следующим образом.

По *видам производства* отходы делят на отходы производства кожи и отходы производства обуви (отходы кожевенного и обувного производства). Отходы производства кожи различают по виду кожевенного сырья, стадиям образования, химическому составу и по виду готовых кож.

По *видам кожевенного сырья* различают отходы шкур крупного рогатого скота, конских, верблюжьих, козьих и овечьих, свиных шкур и прочих видов кожевенного сырья.

По *стадии образования* различают отходы недубленые и дубленые. Недубленые отходы — отходы кожевенного сырья и полуфабриката, образующиеся до операции дубления, например мездра, голевой спилок и др. Дубленые отходы — отходы дубленого полуфабриката и готовых кож.

По *химическому составу* отходы бывают жиросодержащие и коллагенсодержащие. Жиросодержащие отходы — это отходы, получаемые при строгании или мездрении свиных шкур, мездры овечья и козья первого мездрения, мелкий лоскут свиных шкур и овчин. Коллагенсодержащие отходы — это все остальные виды отходов шкур, полуфабриката и кожи.

По *видам готовых кож* различают отходы кож хромового дубления, юфтевых кож, отходы от кож для низа обуви, для рантов и др.

Отходы обувного производства классифицируют по видам материалов, используемых для деталей обуви, и по направлениям использования этих материалов. Отходы, полученные при раскрое, делят на отходы натуральных, искусственных кож, резины, текстиля, картона и других материалов. В зависимости от направления использования материала отходы делят на отходы, полученные при раскрое материалов для верха или низа обуви.

Кожевенные отходы производства отличаются большим разнообразием по виду и составу. Ниже приведены характеристики основных, наиболее распространенных видов кожевенных отходов производства.

*Незоленая мездра* образуется при мездрении шкур после отмочки на кожевенных предприятиях или при мездрении парных шкур на мясокомбинатах. В зависимости от вида шкур, породы животного, их предубойного содержания и других факторов мездра содержит до 80 % воды, до 1...7 — жира, 5...10 — белка, до 2...3 % минеральных веществ.

*Золеная мездра* образуется при мездрении зеленого полуфабриката. В ней содержится большее количество белка, чем в незоленой мездре, и меньше жира. Используют в производстве мездрового клея, желатина, гидролизатов и других материалов. Содержание белка в такой мездре — до 50 %, в том числе до 35 % коллагена. В состав мездры входят следующие аминокислоты, %: глицин — 21,5, аланин — 8,2, лейцин и изолейцин — 5,1, валин — 2,5, серин — 3,4, треонин — 2,0, метионин — 1,0, пролин — 11,6, гидроксипролин — 9,8, фенилаланин — 2,8, тирозин — 1,0, триптофан — 0,2, аргинин — 7,6, гистидин — 1,2, лизин — 4,1, аспарагиновая кислота — 5,4, глютаминовая кислота — 9,9.

*Крайевые участки шкуры* (лапы, лобашки, коленные чашки и другие части шкур) образуются при контурировании шкур на мясокомбинатах или на кожевенных предприятиях перед запуском шкур в производство.

*Спилки голыевой* для производства кожи непригодны, получаются в результате дубления шкур крупного рогатого скота, прошедших операцию золенки и не удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к спилку, для производства подкладки, велюра и других видов кож. Они неравномерны по толщине, тонкие, имеющие пороки от двоения или пятна различного происхождения. Могут быть использованы для производства мездрового клея, гидролизата, медицинских целей, кормовых добавок, желатина, а также для колбасной оболочки (белкозина) и других целей.

*Жиродержащие отходы* — отходы, получаемые при строгании свиных шкур на кожсырьевых базах. В кожевенном сырье и его отходах содержание жира колеблется в широких пределах и зависит от вида и породы животного, качества кормления, климата. Например, содержание жира в шкурах крупного рогатого скота составляет 0,5...2 %, в козляне — 3...10, в овчине — 10...40, в голке из свиного сырья — 3...5 %.

*Стружка кожевенная* (ОСТ 17-245—73) представляет собой чешуйчатые отходы кожи, получаемые в процессе стружки кож, выдубленных различными солями, и предназначается для выработки кожкартона и других целей. Сырьевая стружка представляет собой тонкие чешуйчатые отходы шкуры, получаемые при строгании парных или отмоченных шкур, в основном воротков шкур. По видам дубления стружку кожевенную подразделяют на стружку кож хромового дубления и прочих видов дубления. По видам перерабатываемого сырья стружку разделяют на опойковую, выростковую, шкур крупного рогатого скота, конскую, свиную, овечью, козью.

Хромовую стружку с содержанием влаги 30...50 % считают сухой, а свыше 50 % — сырой.

*Обрезь кожи хромового дубления* (ОСТ 17-225—73) образуется в виде мелкого лоскута при выравнивании контура кож хромового дубления или при обрывах при выполнении механических операций и раскрое кож на детали обуви. В зависимости от вида кож, из которых она получена, разделяют обрезь кож крупного рогатого скота, конских, свиных, козлыны, овчины. В зависимости от наличия покрывной лицевой пленки обрезь подразделяют на отделанную и неотделанную. Обрезь транспортируется на предприятия в кипах не более 80 кг каждая.

*Вырубка кожевенная* (ОСТ 17-441—77) образуется при раскрое кож для низа обуви на обувные детали и направляется на изготовление изделий ширпотреба и обувных картонов.

*Лоскут кожевенный* (ОСТ 17-218—72) — часть кожи площадью до 7 дм<sup>2</sup>, получаемая в результате разрывов или обрывов кож при механических операциях, а также в виде отходов от раскроя кож, используют на детали обуви, шорно-сидельных, одежных, технических и других изделий.

Кожевенные отходы потребления накапливаются в ТБО и представляют собой в основной массе мелкие изношенные кожаные изделия: верх обуви, галантерея (перчатки, ремни), другие предметы потребления. Кожевенные отходы потребления часто сильно загрязнены и плохо поддаются сортировке по типам отходов. Перспектива использования их в качестве вторичного сырья невелика. По данным АКХ им. К. Д. Памфилова, содержание их в ТБО невелико и определяют его вместе с резиной. Общая доля их в ТБО составляет около 2 % и в последнее время остается практически неизменной.

Переработка кожи сопровождается большим количеством вредных выбросов.

Образующиеся в кожевенном производстве отходы могут быть использованы следующим образом.

*Недубленые:* участки шкур (лапы, лобаши и др.), мездру незоленую, стружку сырьевую используют для производства желатина, кормовых добавок, технического жира, мездрового клея, аминокислот, гидролизатов белка, ПВА, капролона, белковой колбасной оболочки, наполнителя для кожи и т. д.;

мездру золеную, спилковую, кантовочную обрезь, спилок гольевой, непригодный для производства кожи, используют для производства желатина, клея мездрового, кормовых добавок, технического жира, наполнителя для кожи и т. д.;

сало-сырец, мелкий лоскут свиных шкур и овчин используют для производства технического жира, мыла и т. д.

*Дубленые:* стружку, обрезь хромовую, лоскут, спилковую обрезь и другие отходы кожевенного производства используют для получения искусственной кожи, клеевой пасты, гидролизата, клея маляр-

ного, кожкартона, удобрения, защитных коллоидов различного назначения, применяемых для работы с латексами, суспензиями пигментов и для приготовления водных нитроцеллюлозных дисперсий, приготовления пены для тушения пожаров, растворимых клеев, связующих лаков, замазок, наполнителей, пластификаторов, материалов для изготовления эмульсий, наполнителей для кож, эмульгаторов, диспергаторов, смачивателей, косметических мазей, хозяйственной пасты, шпатлевки и т. д.;

кожевенную пыль используют для приготовления резиновых смесей, при производстве пластмасс, а также для производства удобрений и т. д.;

обрезь кож низа обуви используют для производства кожкартона, изделий ширпотреба, упаковочного материала, изоляции, кожпорошка, фанерного производства;

лоскут кожевенный всех видов кож размером до  $7 \text{ дм}^2$  используют для изготовления деталей к ткацким станкам, лыжных креплений, седел для велосипедов, подметок для обуви, ручек для чемоданов, ремешков для бадминтона, детских колясок, футляров для очков, ремней для рюкзаков, стелек для мужской и женской обуви, шипов спортивной обуви, ремней для швейных машин и т. д.

**Отходы обувного производства.** Вырубку кожевенную площадью до  $0,25 \text{ дм}^2$  используют на манжеты для автотовелонасосов и других механизмов, набойки кожаные для обуви, прокладки кожаные для шлифования, рубцы кожаные, шипы для спортивной обуви, шайбы технические кожаные и т. д.

вырубку мелкую резиновую площадью до  $0,25 \text{ дм}^2$  используют на каблуки, набойки резиновые, рубцы для ремонта обуви, ручки для удилиц, на регенерацию и другие цели;

лоскут от раскроя кож для верха обуви площадью до  $2 \text{ дм}^2$  используют на верх детских и домашних туфель, комплект петель для детских пальто, портмоне, покрышки волейбольные, перчатки рабочие, ручки для портфелей, ремни для швейной промышленности, тапочки спортивные дошкольные, туфли для кукол, ремешки для часов, напальчники и т. д.;

лоскут от раскроя искусственной кожи площадью до  $20 \text{ дм}^2$  используют на ремни для чемоданов и хозяйственных сумок, кобуры для детских пистолетов, покрышки волейбольные, ранты искусственные для обуви и т. д.;

лоскут от хлопчатобумажных, суконно-шерстяных материалов площадью до  $1 \text{ дм}^2$  используют на стельки вкладные комбинированные, тапочки детские домашние, спортивные дошкольные, мужские и др.;

мелкую вырубку, высечку и спуск войлока используют на стельки вкладные для женской обуви и т. д.;

лоскут юфтевой площадью до  $2 \text{ дм}^2$  используют для ремонта обуви, на ручки для чемоданов, стельки вкладные для мужской и женской обуви, седла для детских велосипедов и т. д.

С целью снижения негативного воздействия отходов кожевенного производства на окружающую среду большую их часть стремятся вовлечь в переработку для получения конечной продукции. Ниже приведены технологические приемы производства таких видов продукции, как клей, удобрение, белковый гидролизат, кормовые добавки.

*Производство мездрового клея.* В качестве сырья используют недубленые отходы, такие, как мездра, стружка сырьевая, мелкие обрезки шкур, пергаментных кож и сыромяти, а также нестандартное сырье, непригодное для выработки кожевенных и меховых изделий. Технология производства мездрового клея сводится к следующему. После подбора клейдающих отходов в соответствии с ОСТ 17-442—74 и их дозировки отходы измельчают на мездрорезке до размеров 25...50 мм. Затем подвергают их золению: выдержке в барабане при температуре 25...30 °С в растворе смеси извести с кальцинированной содой (известь 10...12 г/л, кальцинированная сода 0,2...0,3 г/л) в течение 10...12 ч. После золения отходы промывают проточной водой, нейтрализуют сульфатом аммония и серной кислотой и снова промывают. Затем отходы подвергают термической обработке в барабане и барботере при температуре 58...60 °С. Получают клеевые бульоны в варочном котле тремя методами: выплавливания, съема концентрированного бульона, фракционного слива. Температура варки 85...95 °С, а продолжительность зависит от применяемого метода и составляет в среднем 4...12 ч. После варки клеевые бульоны фильтруют в две стадии, сепарируют и выпаривают. Далее клей консервируют, используя серноокислый цинк, фенол, бисульфат натрия или диоксид серы. Для получения сухого клея бульон выпаривают в вальцовой сушилке, где его концентрация повышается с 10...20 до 25...40 %, и охлаждают до придания бульону состояние студня, который разрезают на клетки, сушат в сушилках при температуре 20...40 °С в течение 16...72 ч до влажности не более 17 %, затем дробят, сортируют и упаковывают.

*Производство осветленного малярного клея.* Для получения осветленного малярного клея используют стружку кож хромового метода дубления, непригодную для производства кожкартона. Технология изготовления малярного клея включает операции золения, варки, фильтрования, выпаривания и консервирования галерты. Золение ведут в барабанах или котлах в растворе известкового молока (4 % массы стружки) при температуре 18...20 °С. Варят в варочном котле при температуре 80...90 °С в течение 7...9 ч с последующим выпариванием при такой же температуре. Для консервирования клея применяют серноокислый цинк.

*Производство жидкого малярного клея.* Для производства жидкого малярного клея используют дубленые неокрашенные отходы, спилки кож хромового дубления толщиной менее 0,4 мм, непригодный для производства искусственных кож, и спилковую обрезь. Технология изготовления жидкого малярного клея заключается в

размачивании, раздубливании, разваривании кожевенных отходов, двух стадий отстаивания, между которыми их нейтрализуют серной кислотой. Затем идут стадии выпаривания, упаковки и консервирования с использованием сернокислого цинка. Жидкий клей используют в строительстве, химической промышленности и других отраслях.

*Производство удобрения.* Удобрения производят из отходов дубленых кож, полученных при изготовлении кож и использовании их на обувных предприятиях в виде стружки кожевенной, обрезки хромовой, лоскута кожевенного, спилка кожевенного, обрезки спилковой, пыли кожевенной от кож хромового дубления. Сырье перерабатывают в вакуумных горизонтальных котлах. Перед загрузкой сырья котел подогревают, подавая пар в паровую рубашку котла. Соотношение загружаемого сырья следующее, кг: стружка кожевенная — 1500; обрезь кож хромового дубления — 600; спилки кожевенный — 800.

После загрузки сырье прогревают 30...40 мин, затем его разваривают 30...70 мин и сушат. Общая продолжительность процесса зависит от вида используемого сырья и колеблется от 2,75 до 4,3 ч. При переработке сырья добавление воды в котел не допускается. Окончание сушки обычно определяют органолептически. Влажность выгружаемой шквары должна быть не более 10 %. Готовую массу выгружают в транспортирующее устройство и перемещают в дробильное отделение, где готовую массу измельчают на молотковой дробилке, а затем просеивают через сито. Частицы муки, не прошедшие через сито, направляют на дробилку для повторного измельчения. Готовую массу упаковывают в мешки, взвешивают и отправляют на склад. Получаемое удобрение должно соответствовать следующим требованиям: внешний вид — сухая рассыпчатая масса без плотных комков, размер гранул 3...4 мм, содержание влаги — не более 10 %, содержание жира — не более 5, содержание азота — не менее 12,5, содержание золы — не менее 7 %.

*Производство белкового гидролизата.* Белковый гидролизат представляет собой водный бульон натриевой соли полипептидов и имеет прозрачный вид желтого цвета, рН не более 9, плотность при 20 °С не менее 1,06 г/см<sup>3</sup>, содержание сухого остатка не менее 15 %, воды не более 85 %. Для предохранения бульона от плесневения белковый гидролизат должен содержать консервант (поваренную соль) в количестве 0,1 % массы гидролизата. Для производства белкового гидролизата используют спилковую хромированную обрезь, стружку кожевенную, лоскуты от кож хромового дубления, непригодный для производства изделий и кож, а также обрезь от кож.

Технология изготовления белкового гидролизата следующая. Исходное сырье промывают двукратным наполнением воды с последующим сливом, а затем размачивают (тот же промыв, но при повышенной температуре до 30...40 °С). Затем сырье раздубливают — обрабатывают кислотой и кальцинированной содой (щавелевая

кислота — 7 %, кальцинированная сода — 1,0...1,5 % массы отходов) и разваривают (кипячение массы отходов с кальцинированной содой — 1,0...1,5 % массы отходов). Отстаивают гидролизат в две стадии в двух отстойниках. Затем гидролизат выпаривают при кипячении в выпарочном аппарате до плотности 1,16...1,18 г/см<sup>3</sup> и сливают в сборник. Выход готового продукта составляет 59...60 %.

*Производство кормовой добавки.* Сырьем для производства кормовой добавки является мездра сырьевая, гольевая и другие белоксодержащие отходы. Сырье для кормовой добавки должно соответствовать ОСТ 17-442—74. Получают сырье из остатков шкур, прошедших ветеринарный осмотр. Технология производства мездрового полуфабриката для кормовой добавки состоит в следующем. Сырье, измельченное в мездрорезке, промывают в три стадии: первая — промывка в проточной воде, вторая — в 2%-м растворе серной кислоты, третья — в проточной воде с двумя-тремя сливами воды. Промывка окончена, если в ней отсутствуют ионы SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. После промывки сырьевую (гольевую) мездру обезвоживают на прессе или центрифуге.

Зарубежный опыт использования отходов кожевенного производства весьма разнообразен.

Например, в Чехии кожевенные отходы гидролизуют под давлением при температуре 120...130 °С в присутствии щелочных агентов. Гидролизат собирают в емкости, выпаривают до сухого остатка 100 г/л и сушат. Полученную муку используют на корм для свиней.

В Польше мездру, содержащую 80 % влаги, помещают в автоклав и обрабатывают серной или уксусной кислотой до pH 3...6, затем нагревают паром в течение 15...30 мин при температуре 100 °С. В процессе нагревания удаляются сернистые соединения, выделяются жиры, белки гидролизуются. Отходы прессуют под давлением 2 · 10<sup>5</sup> Па, стерилизуют в течение 3...4 ч и выпаривают влагу. Жиры удаляют из нижней части автоклава и подают в цистерну. Белковая масса поступает на валки с подогревом для сушки, затем измельчается на ударной мельнице. Из 15 т отходов получают 1 т муки и 1,5 т жиров.

В Испании разработана установка для переработки мездры производительностью 35...40 т/сут. Мездру измельчают, нейтрализуют в специальном сборнике и выдерживают при температуре 60...70 °С. По окончании обработки смесь поступает в центрифугу, где из белков удаляют влагу и жиры. Жидкую фазу откачивают насосом, и она поступает в сепаратор, в котором жиры отделяются.

В Японии отходы кожевенного производства подвергают длительному золению в течение 20 сут при температуре 18...22 °С, затем обеззоливают и обрабатывают ферментами, обезжиривают и обезвоживают ацетоном. Полученные таким образом белковые вещества идут на корм скоту. В продукте содержится большое количество витамина B<sub>12</sub>, что ускоряет рост молодняка.

В США отходы свиных шкур, в том числе и мездру, обрабатывают по схеме: гидролиз — выпаривание — измельчение.

Разработан также и сухой способ переработки отходов свиных шкур вместе с измельченными костями, кровью, обрезками сырья и внутренностями животных. Отходы помещают в специальные котлы и нагревают. В результате нагрева вода испаряется, а жир расплавляется и стекает. Затем массу отжимают в обогреваемом прессе, где жир отжимается дополнительно. Остаток после отжима измельчают, получая кормовые добавки для животных.

Известен также способ производства сухих кормов с использованием ферментативного гидролиза кожевенных отходов. Вначале их нагревают до 40 °С, затем измельчают, добавляют воду. После этого быстро нагревают до 80 °С и быстро охлажда-

дают до 50 °С, добавляют буферный активатор и фермент протеазы и получают жир и белковые фракции.

В Германии машинную мездру измельчают, гомогенизируют фосфорной кислотой в течение 12...18 ч, обрабатывают в обогреваемом устройстве в течение 1 мин при температуре 90...120 °С, сепарируют (отделяют жир от белка), нейтрализуют жир известью. Образовавшийся остаток нейтрализуют, сушат, измельчают, а затем используют на корм в виде добавок.

В Чехии разработана и внедрена технология получения кормов из обрезки кож хромового дубления. Схема производства состоит из гидролиза сырья под давлением в щелочной среде, отделения жидкой фазы, осветления, последующего выпаривания под вакуумом и получения порошкообразного корма, который содержит до 87 % усваиваемых белков и не содержит жира. Его добавляют в рацион свиней и крупного рогатого скота. Нормы, установленные в Чехии, разрешают добавлять в комбикорм не более 3 % кормовой добавки из отходов кожи. Содержание хрома в готовом корме составляет 0,001...0,003 %, что считают допустимым.

В Японии отработаны методы производства прочных коллагеновых мембран из отходов спилка. Коллагеновые мембраны используют как упаковочный материал для пищевых продуктов и в других целях. Спилковые отходы обрабатывают раствором щелочи, содержащей амины, затем измельчают и добавляют глутаровый альдегид. Суспензию из коллагеновых волокон смешивают с раствором желатина в присутствии глицерина, добавляемого в количествах, необходимых для придания мягкости волокнам.

Отходы дубленых кож могут быть использованы также для производства активированного угля, который применяют в медицине, при очистке и обесцвечивании растворов в фильтровальных установках и т. д. Активированный уголь из дубленых отходов кож вследствие хорошего разделения волокон обладает большей абсорбирующей поверхностью, чем древесный активированный уголь. В США для этого отходы кож хромового дубления обжигают при температуре 400 °С до их обугливания.

На кожевенных заводах при переработке кожевенных отходов в клей, кормовые добавки и т. п. используют достаточно простые технологические процессы и стандартное для данной отрасли оборудование.

## 5.4. ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

По существу главным представлением вторичные полимерные материалы составляют ту часть полимерных отходов, которая может быть выделена из их общей массы и переведена в материальный ресурс, пригодный для дальнейшего использования. Доля вторичного полимерного сырья в общей массе полимерных отходов сильно различается по странам и внутри каждой страны по регионам и определяется уровнем технического развития, законодательством, налоговой и финансовой политикой в области отходов, принятой в данном регионе системой сбора и утилизации отходов.

Использование полимерных отходов как вторичного полимерного сырья (переработка и утилизация) даже в странах с развитой экономикой и системой законодательства в области отходов низкое. Так, из образовавшихся в 1992 г. в странах ЕС 15 млн т полимерных отходов было механически переработано во вторичные полимеры 6,8 %. Сожжено с целью получения энергии 15,9 %, без по-

лучения энергии — 4,5, захоронено около 77 %. Таким образом, из общего объема накопления полимерных отходов вторичными полимерными материалами можно считать только 6,8 % — то, что было механически переработано, и условно 15,9 % — то, что было сожжено с целью получения энергии.

В мировой практике принято разделять полимерные отходы на три группы в зависимости от места образования.

*Технологические отходы производства* образуются при синтезе и переработке термопластов и других видов пластмасс. Технологические отходы делят на устранимые и неустраимые.

Устранимые отходы образуются вследствие несовершенства технологии синтеза и переработки пластмасс и несоблюдения технологических режимов (брак производства), а также в процессе переработки полимеров в изделия (кромки, высечки, облои, литники, обрезь и т. д.). Устранимые отходы часто представляют собой высококачественное сырье, по своим свойствам не отличающееся от исходного материала. Применение устранимых отходов как вторичного сырья не требует дополнительной переработки, специального оборудования, так как используют их на самих предприятиях.

Неустраимые отходы — сложные многокомпонентные отходы, содержащие помимо полимеров другие материалы, использование которых в качестве вторичного полимерного сырья требует специального оборудования и технологий.

*Отходы производственного потребления* накапливаются в результате выхода из строя или прекращения срока использования полимерных изделий (отходы упаковки, накапливающиеся на предприятиях торговли, оптовых базах, многооборотная полимерная тара, мешки из-под удобрений, сельскохозяйственная пленка и т. д.). Эти виды отходов в большинстве случаев имеют стабильный состав, мало загрязнены и могут быть дополнительным источником вторичного сырья, пригодного для повторного использования.

*Отходы потребления*, включающие полимеры, которые накапливаются в процессе жизнедеятельности населения. В конечном итоге они переходят в смешанные полимерные отходы, которые являются одним из компонентов ТБО. Смешанные полимерные отходы утилизируют вместе с ТБО на свалки или мусоросжигательные заводы.

До 7,0 % всего городского мусора (в странах ЕС) составляют полимерные отходы, и их доля увеличивается с ростом уровня жизни (в Швейцарии до 20 % ТБО составляют отходы полимеров).

Использование смешанных полимерных отходов из ТБО в качестве вторичного сырья представляет наибольшие трудности. Это связано с технологической несовместимостью полимеров, входящих в состав смешанных полимерных отходов, и их большой загрязненностью. Переработка смешанных отходов требует выделения различных классов из общей массы полимеров и тщательной отмывки их от загрязнений. Практически такое разделение

может быть проведено только на мусороперерабатывающих заводах при комплексной переработке городского мусора. При этом стоимость выделения и последующей переработки часто бывает достаточно велика, что делает вторичные полимеры, получаемые из городского мусора, неконкурентоспособными с первичными полимерами.

Вместе с тем существует целый ряд компонентов смешанных полимерных отходов, которые можно выделить из городского мусора и использовать в качестве вторичного сырья.

Номенклатура полимерных отходов, их количественный состав по данным зарубежных источников для стран ЕС приведены далее.

Полимерный материал	Доля в общей массе отходов, % массы
Полиэтилен:	
низкой плотности	32,5
высокой плотности	15,3
Полипропилен	12,0
Поливинилхлорид	11,0
Полистирол	8,0
Полиэтилентерефталат	4,2
Полиуретаны	5,5
АВС-пластики	2,2
Прочие	9,7

В экономически развитых странах (ЕС, США, Япония) принят комплексный подход к решению проблемы использования полимерных отходов в качестве вторичного полимерного сырья. К 2000 г. в ряде стран планируют запретить вывоз отходов полимерных материалов на захоронение. Важно отметить, что большинство экспертов в развитых странах считают, что полимерные отходы нужно в обязательном порядке выделять из основной массы ТБО и утилизировать отдельно, так как они практически не разлагаются в естественных условиях при вывозе на захоронение, а при сжигании являются одним из основных источников токсичных выбросов.

Объем накопления полимерных отходов в различных типах ТБО относительно общего объема их накопления приведен далее.

Отходы	Объем накопления отходов полимеров относительно общего объема накопления, % массы
Муниципальные	61,1
Широко распространенные (упаковка, одноразовая посуда и т. д.)	21,5
Возникающие:	
при перевозках и обработке грузов	5,4
при утилизации электротехники и электроники	4,4
в сельском хозяйстве	4,4
при строительстве и сносе	3,2

Результаты токсичности, полученные при исследовании продуктов сжигания различных полимеров, приведены в таблице 5.5.

### 5.5. Максимальная токсичность различных полимеров

Полимерный материал	Токсичный продукт, балл				Суммарная токсичность, балл
	CO	CO <sub>2</sub>	HCl	CHN	
Полистирол	19	2	—	—	21
Полиолефины	21	1	—	—	22
Полиэфир	24	2	—	—	26
Фенольные смолы	5	1	—	—	28
Древесина	47	3	—	—	50
Хлопок	59	2	—	—	61
Поливинилхлорид	12	1	343	—	356
Шерсть	14	1	—	375	390
Полиуретаны	14	1	—	273	287
Полиамиды	17	1	—	931	949
Полиакрилонитрил	7	1	—	1201	1209

Проблеме утилизации и переработки пластмасс из отходов потребления уделяли значительно меньшее внимание, за исключением нескольких видов наиболее массовых отходов, например сельскохозяйственной пленки. Это было связано с низким потреблением пластмасс в быту, относительно низкой стоимостью первичного полимерного сырья, отсутствием системы сбора полимерных бытовых отходов и ориентацией на захоронение, а не на утилизацию бытового мусора.

В связи с изменением политической структуры России и переходом к рыночной экономике ситуация в области вторичных полимеров резко изменилась. Сократился объем выпуска полимеров и полимерных изделий, что привело к уменьшению количества полимерных отходов производства. Возросли объемы бытовых полимерных отходов, что связано как с массовым притоком импортных товаров в современной упаковке, так и с более широким использованием полимерных материалов для упаковки и тары отечественных товаров и изделий.

Вместе с тем резко возросли цены на первичные полимеры и, как следствие, повысилась конкурентоспособность использования вторичных полимеров в производстве материалов и изделий. Развивающаяся, особенно в крупных городах, система утилизации бытового мусора делает возможным аккумулировать массу полимерных отходов на ограниченной площади, расширяя этим возможности использования вторичных полимеров и продуктов переработки полимерных отходов.

В России существует много крупных предприятий по производству полимеров и переработке их в изделия, которые оснащены основным оборудованием, а также дополнительным — для вторичной переработки собственных полимерных отходов.

Важно отметить, что поскольку объемы выпуска полимерных изделий на крупных предприятиях снизились, то мощности оборудования переработки собственных отходов на них стали превышать объемы их образования, что позволяет использовать эти предприятия в качестве базовых по переработке вторичных полимерных отходов.

Помимо крупных предприятий по производству и переработке пластмасс существуют средние и мелкие предприятия. Объем переработки полимерных отходов у них разный и определяется технологией производства изделий из пластмасс и типом используемых полимеров.

Практически полностью перерабатываются в собственном производстве отходы литьевых изделий, производства труб и листов из полиолефинов, полистирола и конструкционных пластиков.

Высок (до 80 %) объем переработки отходов производства пленки из полиэтилена и полипропилена.

Значительно меньше объемы переработки отходов производства вакуумформования из полистирола, практически не перерабатывают отходы производства литья из пластиков поливинилхлорида, вакуумформования из жесткого поливинилхлорида, многокомпонентных материалов типа моющих обоев.

Большое число предприятий используют полимерные материалы, полуфабрикаты и комплектующие для выпуска основной продукции. В первую очередь это предприятия по выпуску пищевой продукции (упаковка), предприятия по выпуску строительных материалов и конструкций, мебели, предприятия по выпуску автомобилей, машиностроительные предприятия.

Основные типы полимерных отходов, образующиеся на этих предприятиях: упаковочная пленка (полиэтилен низкой плотности), полиэтилен высокой плотности), литьевые изделия, полистирол, поливинилхлорид.

Неперерабатываемые отходы этих предприятий: упаковочная пленка (полиэтилен низкой плотности), пищевой полистирол (вырубка от вакуумформования), жесткая пленка поливинилхлорида, отходы искусственных кож, мягкая поливинилхлоридная пленка, полиуретан.

Основные полимерные отходы промышленного потребления: тара и упаковка, образующиеся на предприятиях торговли при обработке грузов. В основном это достаточно чистые отходы пленки полиэтилена низкой плотности, полимерной многооборотной тары (полиэтилен высокой плотности), упаковочные пенопласты на основе пенополистирола, которые можно легко переработать во вторичное полимерное сырье.

Основная масса полимерных отходов, содержащихся в ТБО, составляет 4,0...5,5 % общей массы.

Состав полимерных отходов в твердом бытовом мусоре приведен далее, места концентрации полимерных отходов, их состав и возможные объемы накопления — в таблице 5.6.

Полимерный материал	Доля полимерных отходов в общей массе, %
Полиэтилен:	
низкой плотности	40,0...50,0
высокой плотности	10,0...15,0
Полипропилен	3,0...5,0
Поливинилхлорид	10,0...15,0
Полистирол	5,0...7,0
Полиэтилентерефталат	12,0...15,0
Прочие	7,0...20,0

### 5.6. Места концентрации полимерных отходов, состав и примерные объемы их накопления в Москве

Места концентрации полимерных отходов	Полимерный отход, тип полимера	Объемы накопления, т/год
Мелкооптовые рынки	Упаковочные материалы: пленка, пенопласты (ПЭНП, ПЭВП, ПС)	1000
Крупные торговые центры	То же	1500
Места развлечения и отдыха (выставочные комплексы, парки отдыха)	Упаковочные материалы, одноразовая посуда, полимерные бутылки (ПЭНП, ПЭВП, ПС, ПЭТФ)	1500
Транспортные центры (аэропорты, вокзалы)	Одноразовая посуда, полимерные бутылки, упаковка (ПС, ПЭТФ, ПЭНП)	5000

Объемы накопления вторичного сырья из отходов промышленного производства зависят от многих факторов.

Полимерные отходы общественного потребления практически не собирают и не перерабатывают. Учитывая возрастающее использование их в общественном потреблении (упаковочные пленочные материалы, полимерные емкости, одноразовая посуда, пищевая индустрия), можно ожидать увеличения полимерных отходов общественного потребления на 0,1...0,5 % в год. Из общего количества этих полимерных отходов без принципиального изменения системы сбора и утилизации отходов общественного потребления (строительство мусороперерабатывающих заводов, организация в городе отдельного сбора бытового мусора) может быть собрано и переработано не более 10 % полимерных отходов.

Переработка полимерных отходов во вторичное полимерное сырье заключается в подготовке полимерных отходов к вторичному использованию с применением методов измельчения и гранулирования экструзией в расплаве. Особенность механических методов — переработка без существенных изменений химической структуры полимера. Конечный продукт механической переработки отходов пластмасс — получение гранул (или измельченного до определенного размера частиц) вторичного полимера. Процесс получения гранулированного материала, как правило, сопровождается

ся введением добавок: модификаторов, стабилизаторов, пигментов и красителей, наполнителей. Важная особенность большей части полимерных отходов — то, что после гранулирования экструзией в расплаве их можно перерабатывать в изделия на стандартном оборудовании.

Стадии механической переработки зависят от типа полимерных отходов, степени их загрязнения, источника образования. Механической переработке предшествуют стадии сбора полимерных отходов, приема и хранения, сортировки и складирования. Основные элементы технологии механической переработки полимерных отходов: резка, дробление, измельчение, отмывка, разделение (для смешанных отходов), сушка, агломерация, гранулирование, усреднение по составу (смешение).

В зависимости от типов отходов конечным продуктом механической переработки могут быть: дробленые отходы, агломерат, гранулят, полимерные композиции (модифицированные, наполненные, окрашенные полимеры и их смеси).

Технологическая линия переработки (рисайклинга) полимерных отходов включает в себя загрузочное устройство, участок предварительной резки, участок измельчения, участок отмывки отходов от загрязнений, участок сушки, агломерат, сепаратор, участок получения гранулята или полимерных композиций, имеющий смесительные силосы, систему взвешивания добавок и дозирования, экструдер для смешивания и пластификации материала, снабженный фильтром расплава, гранулятор, систему сушки и охлаждения гранулята и систему упаковки готовой продукции.

Полный технологический цикл получения вторичных полимерных материалов состоит из заготовки сырья и его переработки. Процесс заготовки сырья практически не зависит от вида полимерных отходов, он не механизирован и включает сбор, прием, сортировку, упаковку и складирование.

Исходя из анализа мирового опыта, можно предложить следующие мероприятия по организации системы сбора, складирования и первичной обработки полимерных отходов производства, обеспечивающие максимальное использование вторичных полимеров:

организация центров сбора и первичной обработки полимерных отходов;

создание нормативно-законодательной базы, обязывающей юридические лица (промышленные предприятия, торговые центры, магазины, оптовые рынки, банки) вывозить полимерные отходы в центры сбора и первичной обработки;

создание нормативно-законодательной базы, обеспечивающей применение изделий из вторичных полимерных материалов в городском хозяйстве.

Мероприятия по организации сбора, складирования и первичной переработки полимерных бытовых отходов и общественного потребления:

создание нормативной базы для сбора полимерных отходов у населения через систему заготовительных пунктов приема вторичного сырья;

создание нормативно-законодательной базы для выделения полимерных отходов общественного потребления на предприятиях торговли (магазины, торговые центры, оптовые и мелкооптовые ярмарки), бытового обслуживания населения и прочих юридических лиц;

развитие системы раздельного сбора отходов в местах проживания и массового отдыха населения (центр города, выставочные центры, парки отдыха, мемориальные центры).

Мировой опыт показывает, что предприятия (юридические лица), на которых образуются отходы, должны нести расходы по их переработке и утилизации. Полимерные отходы нецелесообразно вывозить на захоронение, поскольку они представляют ценное вторичное сырье, плохо компактируются при захоронении и практически не подвержены естественному разложению. Полимерные отходы относятся к 4-му и 3-му классам токсичности, однако значительная часть полимерных отходов представляет собой отходы упаковки, токсичность которых определяется токсичностью упаковываемых веществ.

Для того чтобы направить полимерные отходы на пункты сбора и сортировки, необходимо запретить их вывоз на полигоны захоронения для всех предприятий и юридических лиц, включая торговые центры, магазины, банки, оптовые рынки, транспортные центры, и обязать предприятия вывозить их на пункты сбора. Также необходимо разработать расценки на вывоз полимерных отходов на пункты сбора в зависимости от количества отходов, их типа, степени загрязненности (механическими примесями и остатками упаковываемых веществ).

В мировой практике федеральные и местные власти всех развитых стран стимулируют использование и потребление вторичных полимеров. Методы стимулирования включают: снижение ставок налогов на предприятия, занимающиеся производством изделий из вторичных материалов, и обеспечение государственного (федерального и местного) заказа на изделия из вторичных материалов. Для этого необходимо просмотреть номенклатуру изделий из полимерных материалов, потребляемых в городском хозяйстве, выбрать из них те, которые могут быть изготовлены из вторичных полимерных материалов, и подготовить нормативные документы, которые гарантировали бы их сбыт.

При составлении этих документов необходимо обеспечить заинтересованность в использовании вторичных материалов. В частности, для сбыта упаковочных материалов из вторичных полимеров можно использовать европейский опыт. Так, в Швейцарии согласно законодательству бытовой мусор, мусор гостиниц, торговых центров упаковывают только в мешки из вторичных материалов.

Местные власти не принимают мусор, если он упакован в другие мешки. Мешки, имеющие так называемую «зеленую метку» и специальное клеймо муниципалитета, владельцам частных домов, гостиниц и торговых центров продают сами муниципалитеты, которые являются оптовыми покупателями мешков у фирм-производителей. Муниципалитеты имеют от продажи мешков для упаковки дополнительную прибыль и заинтересованы в их продаже.

Учитывая структуру бытовых отходов и степень готовности предприятий к переработке различных типов полимеров, например, могут быть рекомендованы следующие виды полимерных отходов: бутылки пластиковые полиэтилентерефталатные чистые (бутылки без этикеток из-под минеральной и газированной воды, соков), полимерные емкости и бутылки из полиэтилена (чистые без этикеток емкости и бутылки из-под шампуней, бытовой химии, машинных масел), полиэтиленовая пленка чистая, крупногабаритные полимерные изделия.

Полимерная упаковка от пищевых и непищевых товаров имеется практически на всех предприятиях торговли. Установлено, что упаковка на 95 % состоит из пленки относительно чистого, недеструктурированного полиэтилена низкой плотности, пригодного для вторичной переработки и получения из него пленочных упаковочных материалов. Объемы накопления упаковки на предприятиях торговли составляют от 0,5...3,0 до 50...150 кг/сут. Для сбора и использования этих отходов в качестве вторичных материалов необходимо запретить вывоз полимерных отходов вместе с бытовыми отходами и обязать предприятия торговли собирать и накапливать на своей территории отходы пленки и организовать их вывоз в центры сбора и сортировки полимерных отходов. Прием полимерных отходов от всех юридических лиц должен быть платным.

В мировой практике развитых стран в крупных городах в местах массового скопления населения предусмотрен отдельный сбор мусора. Для этого устанавливаются отдельные контейнеры для сбора макулатуры, полимеров, стекла и стеклобоя, железных банок и т. д. В России тоже необходимо развивать систему отдельного сбора, а начать надо с отдельного сбора мусора в центре города и местах массового скопления населения.

Свойства вторичных полимерных материалов, полученных при переработке полимерных отходов, возможность и области их применения определяются многими факторами, основные из которых: химическая структура полимера, вид полимерных отходов, время и условия эксплуатации полимерных изделий, условия переработки, развитие рынка вторичных полимерных материалов, опыт работы производителей с вторичными полимерами. Особенность применения вторичных полимерных материалов — возможность их использования после переработки, совмещенной в случае необходимости с модификацией и наполнением в типовых процессах получения изделий из полимеров на типовом стандартом оборудовании.

Области применения вторичных полимерных материалов приведены далее.

Вторичный полимерный материал	Область применения
ПЭНП	Производство пленки, листов, труб, выдувных изделий, литевых изделий
ПЭВП	Производство литевых изделий, выдувных изделий, труб, профильных изделий
ПП	Производство литевых изделий
ПС, УПС	Производство листов, пленки, литевых изделий
ПА	Производство литевых изделий
ПВХ	Производство пленки, листов, профильных изделий, труб
АВС	Производство литевых изделий, листов
ПК, ПБТ	Производство литевых изделий
ПЭТФ	Производство волокон, нитей, жилки, литевых изделий

## 5.5. ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ РЕЗИНЫ И ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН (ПОКРЫШЕК)

Отходы резиновых изделий принято делить на отходы производства и отходы общественного потребления. Отходы производства резиновых изделий накапливаются на предприятиях, производящих резинотехнические изделия, автомобильные шины, резиновую обувь. Отходы потребления образуются в результате хозяйственной деятельности физических и юридических лиц.

**Отходы производства.** Отходы производства резинотехнических изделий делят:

*отходы резиновых смесей*, образующиеся на предприятиях в процессе производства резиновых смесей, представляют собой бракованные резиновые смеси, — отходы, используемые в собственном производстве или продаваемые на сторону;

*невулканизированные резиновые отходы* — технологические отходы, образующиеся в процессе вулканизации резины на крупных предприятиях по производству шин, резинотехнических и резиновых изделий (выпрессовки, облой, обрезь конвейерных лент, брак);

*вулканизированные резиновые отходы* — технологические отходы, образующиеся при изготовлении резиновых изделий из вулканизированной резины (брак шин, вырубки при производстве подошвы резиновой обуви и других изделий).

Большая часть отходов производства резинотехнических изделий, как правило, утилизируется на самих предприятиях, на свалки их не вывозят или вывозят в ограниченных количествах.

**Отходы потребления.** Основным, наиболее массовым видом отходов общественного потребления являются амортизированные шины. В мире на производство автомобильных шин расходуется половина производимых синтетических и натуральных каучуков (более 15 млн т в год), и в конечном итоге все производимые шины через определенное время попадают в отходы. Время эксплуатации автомобильных шин меньше, чем время эксплуатации большинства резиновых изделий.

Объемы образования амортизированных шин в различных странах мира приведены далее.

Страна	Объем, тыс. т/год	Страна	Объем, тыс. т/год
США	16000...18000	Дания	30...77
Япония	600...750	Норвегия	26
Канада	220	Швеция	50
Голландия	45...60	Финляндия	30...35
Франция	400...425	Германия	460...510
Италия	200...250	Австрия	40...46
Англия	250...400	Испания	160
Швейцария	40...58		

Объемы переработки и использования изношенных шин за рубежом колеблются от 87 % в Японии до 20...30 % в США и большинстве стран Западной Европы (в Германии — 50,5 %). Прогнозируют, что в ближайшее время в США объемы переработки будут доведены до 50 % изношенных шин.

В мире применяют различные технологии по переработке и утилизации резиновых отходов и изношенных автомобильных шин. В этих технологиях предусмотрено использование изношенных шин и резиновых отходов для получения энергии путем сжигания, измельчение шин и резиновых отходов для получения резиновой крошки, порошка и регенерата.

**Утилизация целых шин.** Целые изношенные шины используют при устройстве искусственных рифов, служащих местом обитания рыб и устриц. У берегов Австралии фирмой «Гудияр» (1970 г.) был создан искусственный риф из 15 тыс. шин, у берегов Флориды — из 215 тыс. шин. Искусственные рифы из шин имеются также в Новой Зеландии, Греции, Японии, на Ямайке и в других странах. Морская вода при этом не загрязняется.

Иногда изношенные шины применяют как защитные элементы, например при укреплении склонов от эрозионных процессов. В этом случае склоны покрывают покрывками, засыпают их почвенным грунтом и сеют травы.

**Сжигание шин с целью получения энергии и.** Использование изношенных шин для получения энергии с точки зрения экологии неоднозначно, так как это связано с выделением в атмосферу больших количеств цинка и серы.

Так, на примере тушения пожара склада 14 млн шин в Канаде были изучены особенности воздействия продуктов горения шин на

окружающую среду. Отмечено содержание в дыме горящих шин канцерогенных веществ и небольшого количества диоксида. Горевшие шины тушили 17 сут с помощью пожарных самолетов, грязевого ливня и снегопадов. В результате пожара образовались сотни литров диоксинсодержащих отходов, а образование ядовитых дымов потребовало эвакуации окрестного населения.

При организации полного и безопасного сгорания шин в печах, оборудованных соответствующими фильтрами очистки выбросов, эти проблемы исчезают. Однако создание печей и очистных сооружений для улавливания вредных газов и соединений тяжелых металлов требует больших затрат. Так, при использовании покрышек в качестве топлива затраты составляют 20...25, а иногда 30...35 долл. на 1 т. Этот метод неперспективен также и с энергетической точки зрения: при сжигании одной шины от легкового автомобиля выделяемое количество энергии примерно равно энергии, получаемой от сжигания 3 л нефти. По данным изготовителей шин, энергия, затраченная на производство одной шины, равна энергии, получаемой при сжигании 27...30 л нефти (21 л расходуется на приготовление сырья и 6 л на процесс изготовления шины).

Однако в целях утилизации шин и получения при этом дополнительной энергии в мире широко применяют сжигание шин.

Так, в Англии с 1975 г. получают энергию из отходов резины и изношенных шин, что существенно экономит нефтепродукты и затраты на захоронение отходов.

В Англии работает установка для сжигания шин фирм «Гудияр» и «Эйвон», а фирма «Оксфорд энерджи» строит установку по выработке электроэнергии за счет сжигания шин, изготовленных по технологии фирмы «Гумми Майер» (Германия). Фирмой «Элм энерджи и Рисайклинг ЛТД» получены разрешение и ассигнования на строительство завода по сжиганию 90 тыс. т/год (12 млн шт.) изношенных шин с целью получения электроэнергии. Одновременно здесь будут получать 15 тыс. т металлолома для сталелитейной промышленности и 300 т соединений цинка для цветной металлургии.

Итальянская фирма «Марангони» с 1982 г. эксплуатирует две установки по сжиганию шин, производящие пар. Одна установка рассчитана на сжигание 8000, а другая — 2000 т шин в год. Эти установки отличаются достаточно низким количеством выбросов загрязнений в атмосферу и удовлетворяют требованиям природоохранного законодательства ЕС. За счет сжигания 8000 т шин экономят почти 6000 т топлива.

Изношенные шины сжигают в 9 штатах США на электростанциях в котлоагрегатах различного типа (механических, циклонного сжигания, сжигания угля в распыленном состоянии, в псевдооживленном слое). В США 1987 г. в Калифорнии начал функционировать завод по получению энергии при сжигании изношенных шин мощностью 5 млн шин в год. Этот завод вышел на запланированную мощность (14 МВт) и начал приносить доход. В течение 3 лет переработано 15 млн покрышек. Получаемый при сжигании стальной шлак используют в цементной промышленности или при строительстве дорог. Зола, содержащая большие количества  $ZnO$ , улавливается, очищается и отправляется на переработку для получения цинка. Сера скапливается и смешивается с известью, и затем эту смесь используют как удобрение или как строительный материал.

В будущем планируют построить в окрестностях Лас-Вегаса (США) завод, который будет самым крупным предприятием в мире. Он будет сжигать 18 млн покрышек в год и производить 50 МВт электроэнергии. Стоимость 1 кВт·ч производимой электроэнергии при использовании изношенных шин составляет 8,5 цента, а использование других альтернативных видов энергии (ветер, солнце) около 9 центов. Однако электроэнергия, получаемая при сжигании газа и нефти, значительно дешевле.

Основная причина применения методов сжигания шин для получения энергии во многих развитых странах — отсутствие эффективных технологий комплексной переработки шин с получением продукции высокого качества.

Применение шин в качестве топлива в цементной промышленности. Технология фирмы «Бриджстоун/Файрестоун» успешно используется в Японии с начала 80-х годов. По данной технологии целые или разрубленные на куски шины вводятся в модернизированную вращающуюся печь. Металлокорд, находящийся в шинах, частично заменяет железную руду, необходимую в производстве цемента. Рекомендуют заменять от 5 до 10 % основного топлива шинами. Стоимость модернизации цементных печей для перевода их на сжигание шин по технологии фирмы «Бриджстоун» составляет 100 000...500 000 долл. США. Возместить затраты можно в течение года или даже за более короткий срок. Следует отметить, что усовершенствование цементных печей по данной технологии позволяет на 25 % сократить расход традиционных энергоносителей и уменьшить загрязнение окружающей среды.

Однако в Швейцарии фирма «Джура цемент уоркс» в 1989 г. прекратила сжигание шин в цементных печах из-за загрязнения окружающей среды продуктами сгорания. В США из 200 существующих печей только 12 сжигают изношенные шины, несмотря на то что затраты на переоборудование печей для замены угля изношенными шинами сравнительно невелики. 2 млрд шин, лежащих на свалках США, эквивалентны 20 млн т угля и гарантируют снабжение цементной промышленности дешевым топливом в течение длительного времени.

Пиролиз отходов резины. В наиболее развитых странах (США, Японии, Германии, Швейцарии и др.) уже длительное время эксплуатируют опытно-промышленные установки по пиролизу изношенных шин мощностью 7...15 тыс. т/год по сырью.

Пиролиз кусков шин, резиновой крошки осуществляется в среде с недостатком кислорода. Но так как большая часть этих установок работала в циклическом режиме, а получаемые продукты пиролиза требовали дополнительной очистки перед последующим использованием, а главное — затраты не восполнялись стоимостью получаемых материалов, пиролиз старых шин практически не применяют.

Однако фирма «Энерж Рисерч Интернейшнл» (США) усовершенствовала технологию пиролиза на своей установке «Реактор», которая может перерабатывать 1 млн легковых шин ежегодно, получая из 1 т покрышек более 600 л дизельного масла № 2, 227 кг высосортного технического углерода и 130...180 кг стальной проволоки.

В Канаде предусматривают строительство пиролизного завода мощностью 10 000 т в год с использованием технологии переработ-

ки шин под вакуумом. В этих условиях увеличивается выход масла, минимальны вторичные реакции, получаемый технический углерод легче диспергируется.

В Англии введен в эксплуатацию завод по переработке 50 000 т шин в год в виде кусков размером 20 мм методом пиролиза при 350...500 °С в бескислородной среде. При этом получают 3...4 тыс. т легкого дистиллята, 17 тыс. т твердого топлива, аналогичного древесному углю, и 5...7 тыс. т металла.

**Дробление (измельчение) изношенных шин.** Измельчение (дробление) старых шин считают наиболее привлекательным методом их переработки, поскольку в этом случае в продуктах переработки сохраняются физические свойства резины. Методы измельчения принято разделять на измельчение при положительных температурах и криогенное дробление. В мировой практике не определено, какой из методов более эффективен с точки зрения расхода энергии и применения полученных продуктов.

В США в 1990 г. при дроблении изношенных шин было произведено резиновой крошки 30...40 тыс. т (в том числе для производства резиноасфальта 18...20 тыс. т) при положительных температурах и 13...16 тыс. т — криогенным методом.

Первая установка по получению резиновой крошки криогенным методом начала функционировать в штате Огайо (США) в 1979 г. В Великобритании построены три завода по измельчению покрышек мощностью 12 млн покрышек ежегодно. В Германии в 1979 г. начали работать 2 установки по дроблению покрышек при низких температурах (в г. Брауншвейге и в г. Эссоне). Фирма «Хэльдт» (Германия) в 1987 г. ежесуточно перерабатывала в резиновую крошку около 20 т шин с применением криогенной технологии (замораживающая — молотковая дробилка — ножевая дробилка).

Как показала практика, эксплуатационные расходы измельчения при положительных температурах невелики, но стоимость оборудования больше, чем при использовании низкотемпературного (криогенного) дробления. Поэтому позднее разработан комбинированный способ: грубое дробление при положительных температурах с последующим измельчением в порошок при низких температурах, производительность до 7000 т/год.

Вб. СССР было разработано и внедрено несколько технологий и технологических линий измельчения изношенных шин с текстильным кордом. До 1990 г. функционировало более 10 заводов по производству регенерата из использованных покрышек, при этом каждый завод имел линию измельчения. Для переработки покрышек использовали технологию измельчения при нормальных температурах с применением валкового оборудования.

Предлагаемые линии по переработке шин подразделяют на линии криогенного дробления и линии измельчения при нормальных температурах.

На российском рынке линии криогенного измельчения предлагают фирмы «Интек» (Германия), «Крамб раббер технологи» (США) (США), «Виртег» (Швейцария). Технологические линии имеют примерно одинаковую компоновку и состоят из следующих основных технологических узлов: установка предварительного дробления цельных шин на куски размером 150 × 150 мм, камеры охлаждения резины, молотковые дробилки, системы сепарирования (разделения) измельченной резины на фракции, системы отделения металлического и текстильного кордов.

Для охлаждения резины фирмы «Интек» (Германия) и «Виртег» (Швейцария) используют жидкий азот, фирма «Крамб раббер технологи» (США) — турбохолодильные установки. Их основные технико-экономические показатели приведены в таблице 5.7.

**5.7. Основные технико-экономические показатели линий криогенного измельчения резин**

Показатель	«Крамб раббер технологи»	«Интек»	«Виртег»
Производительность по исходному сырью, кг/ч	2000	2700	2000
Выход материала, %:			
резиновая крошка	65	65	65
корд текстильный с резиной	10	5	10
корд металлический с резиной	25	30	25
Расход энергоносителей с учетом потребления жидкого азота, кВт/т	270	600	700
Число работающих при работе в две смены	10	10	8
Производственная площадь, м <sup>2</sup>	150	1000	400
Стоимость установки, долл. США	2200000	2800000	2680000

На российском рынке технологические линии измельчения резиновых отходов, в том числе и шин с металлокордом, при нормальных температурах предлагают следующие зарубежные и отечественные фирмы: СИМР (Франция), АО «Тушинский машиностроительный завод» (ТМЗ), РИЦ «Росполимер» (Россия).

Основные технико-экономические показатели линий по измельчению резиновых отходов этих фирм приведены в таблице 5.8.

Стоимость отечественных линий примерно на 30...40 % меньше, а получаемый на этих линиях порошок имеет более высокую дисперсность и более развитую поверхность частиц, чем порошок, получаемый на линиях криогенного измельчения, и обладает хорошей совместимостью с полимерными связующими.

Основной тормоз в утилизации шин в России — не столько сбор и переработка, сколько отсутствие рынка сбыта продуктов переработки. Необходимое условие развития этого рынка — наличие исчерпывающей маркетинговой информации о способах утилизации шин.

### 5.8. Основные технико-экономические показатели линий измельчения резин при нормальных температурах

Показатель	СМР*	АО ТМЗ***	РИЦ «Рос-полимер»***
Производительность по исходному сырью, кг/ч	1200	1000	1600
Выход материала, %:			
резиновая крошка	65	60	65
корд текстильный с резиной	10	10	10
корд металлический с резиной	25	30	25
Расход энергоносителей, кВт/т	450	450	430
Число работающих при работе в одну смену	5	5	7
Производственная площадь, м <sup>2</sup>	360**	2500	1500
Стоимость установки, долл. США	180000	850000	140000

\*Крошка размером 2,0...3,0 мм.

\*\* Без складских помещений.

\*\*\* Порошок с размером частиц менее 0,5 мм.

Определяющим условием, при котором можно ликвидировать преграды, существующие для утилизации изношенных шин, — экономическая эффективность используемых технологий переработки и использования получаемых при этом продуктов. Решить проблему переработки и использования изношенных шин можно, объединив усилия всех ответственных сторон: переработчиков, потребителей, шинников, федеральных и местных исполнительных органов. Только наличие соответствующего законодательства об утилизации использованных шин открывает новые рынки для технологий переработки и применения полученных продуктов. Для этого должна быть создана система стимулирования с обязательным участием правительства.

Так, проблема ликвидации запасов (завалов) изношенных шин и предложения по ее решению рассмотрены в США на государственном уровне. Проектом нового билля (закона) об изношенных шинах предусматривается установление на каждую продаваемую новую шину федерального налога — 50 центов и дополнительного (минимум 50 центов) для выплаты сборщикам и переработчикам изношенных шин. При этом требуется, чтобы в местах сбора и переработки шины разрезали в течение 7 сут. Запрещается использовать для захоронения целые шины. Согласно этому закону производители шин должны представить правительству доказательство того, что ими переработана определенная доля старых шин.

Основная идея закона — оплата переработки изношенных шин производителями, продавцами и потребителями. Этот дополнительный доход, как предполагают, позволит переработчикам снизить цены на продукты утилизации и сделает их конкурентоспособными на рынке.

Должна быть разработана система для кредитования различных способов переработки, в соответствии с которой наибольшую долю получают те фирмы, которые занимаются восстановлением шин, их регенерацией и получением крошки, производством изделий из продуктов переработки, а меньшую — фирмы, применяющие сжигание, грубое измельчение резины и другие методы, направленные на вторичное использование старой резины.

На первых порах переработка старых шин должна составлять около 21 % с ежегодным увеличением на 5 % в последующие 10 лет.

Новые нормативные акты по изношенным шинам уже действуют в 12 штатах США, которые, не дожидаясь федерального законодательства, приняли собственные постановления по переработке и использованию изношенных шин.

В штате Массачусетс предложен законопроект, который ограничивает объем хранения старых шин до 250 штук. Хранить их необходимо в огражденном месте. Продавец новых шин должен собирать взнос 5 долл. за 1 шину, который будет возвращать при сдаче старых шин.

В штате Калифорния, начиная с 1 июля 1990 г., законопроектом установлен сбор в 20 центов на ликвидацию с каждой шины, оставляемый у дилера или другого продавца.

В штате Род-Айленд должен быть принят закон о взносе 10 долл. с каждой шины, проданной в штате. Деньги будут возвращены, когда изношенную шину сдадут дилеру. С 1 января 1993 г. вступил в силу закон, по которому каждая новая шина, проданная в штате, облагается налогом в 50 центов. Эти деньги предназначены на развитие переработки и вторичного использования шин.

Помимо сбора 7 долл. за 1 шину, который уже платят покупатели за ликвидацию изношенных шин в штате Онтарио, принят налог на новую шину 5 долл. без указания, как будут использованы эти деньги.

В штате Вашингтон берут сбор 1 долл. за каждую новую проданную шину, который предназначен для поиска новых вариантов ликвидации и регенерации шин.

В штате Северная Каролина при продаже новых шин берут 1%-й налог, который распределяют между округами штата на ликвидацию изношенных шин.

В штатах Орегон, Юта и Висконсин выделяют субсидии на вторичное использование изношенных шин, включая производство из них топлива и битума.

В штате Миннесота налог на продажу новых шин используют для формирования фонда, из которого финансируют исследовательские работы по переработке шин, дотируют фирмы, привлекаемые к этим работам, и покрывают расходы на расчистку хранилищ старых шин.

Система экономического стимулирования за счет налогов, собираемых с покупателей новых шин, уже введена в Австрии и Швейцарии.

Германская ассоциация производителей резины разработала национальную программу регенерации резиновых отходов, которая поможет определить взаимоотношения между их переработчиками и теми, кто заинтересован в переработке. При этом имеются в виду не только шины, но и резиновые отходы другого происхождения.

В Великобритании в связи с проблемой использования изношенных шин считают, что платить за транспортировку шин, избавление от побочных продуктов и т. д., вероятно, будет потребитель.

В 6. СССР проблемой сбора изношенных покрышек и поставкой их потребителю занимались заготовительные организации Госнаба СССР. Существовали также прямые поставки некоторого количества изношенных шин автохозяйствами собственным транспортом.

Перечень типоразмеров и требования к качеству шин, подлежащих переработке в резиновую крошку и регенерат, регламентировались ГОСТ 3407—89 «Сырье вторичное резиновое. Покрышки и камеры шин. Технические условия». Стоимость 1 т изношенных шин, применяемых на перерабатывающих предприятиях, составляла 29,5 руб. (в ценах до 1989 г.). В настоящее время ассортимент, количество шин и сроки их поставки оговаривают соответствующими договорами с поставщиками изношенных шин, цена которых на 01.02.99 г. составляла 500 руб. за 1 т без учета затрат на транспортировку.

Тем не менее обеспечение перерабатывающих предприятий изношенными покрышками крайне неудовлетворительно (систематически нарушаются договорные обязательства по количеству, ассортименту и срокам поставки). Следует также отметить, что собирают изношенные покрышки в лучшем случае только в количествах, которые может переработать предприятие. Остальные шины беспорядочно рассредоточены по территории страны, накапливаются в местах их эксплуатации (на автобазах, аэродромах, горно-обогатительных комбинатах и т. д.) и служат источником пожароопасности, в результате неконтролируемого сжигания наносится значительный экологический ущерб окружающей среде.

Целесообразны разработка и принятие соответствующего местного и, возможно, федерального закона, регламентирующего порядок сбора и хранения изношенных шин, их переработки и использования, а также экономическое стимулирование решения проблемы в целом за счет ввода дополнительного налога на продажу новых шин.

С целью уменьшения негативного воздействия изношенных шин на окружающую среду целесообразно создание специальных пунктов по хранению изношенных шин на кооперативной или другой основе, которые должны иметь: огороженную территорию; бетонированную площадку для хранения шин с соблюдением всех правил противопожарной безопасности; весы для взвешивания ввозимого и вывозимого сырья; устройства для погрузочно-разгрузочных работ; здания и сооружения, необходимые для работы пункта; подъездные пути для автомобильного и железнодорожного транспорта.

Кроме того, поскольку перевозка целых шин экономически малоэффективна, эти пункты целесообразно оборудовать механизмами для грубого измельчения покрышек, которые выпускает машиностроительная промышленность России.

Основной продукт при переработке вторичных резин и изношенных шин — резиновая крошка и резиновый порошок различной дисперсности, которые можно применять во многих областях промышленности.

Дорожные покрытия. В США, Бельгии, Австрии и Японии получены хорошие результаты при использовании резино-

вой крошки в дорожном строительстве: значительно повышается износостойкость и снижается шумообразование, повышается морозостойкость, в три раза увеличивается срок службы, сокращается тормозной путь.

Существует два способа изготовления резиноасфальта: первый — химическое взаимодействие крошки с компонентами асфальта, второй — крошку вводят в асфальт в качестве наполнителя, подобно щебню и песку.

Асфальт, содержащий резину, почти 30 лет применяют в штатах Аризона, Калифорния и Техас (в Аризоне проложено более 1600 км дорог с таким асфальтом). Однако об эффективности применения резиновых порошков в дорожном строительстве нет однозначного мнения. Некоторые специалисты и фирмы не видят технических преимуществ асфальта с содержанием резины, которые оправдывали бы его высокую стоимость. Считают, что для обеспечения конкурентоспособности резиновый асфальт должен быть дороже обычного не более чем на 10 %. Однако цены на асфальт, содержащий резину, на 10...100 % больше цен обыкновенного асфальта. Так, цена 1 т асфальтов, содержащих резину, составляет: ультратонкого Роуза — 41 долл.; системы «Плюс Райд» — 46; системы «Ариона» — 47 долл., а цена за 1 км пути соответственно 71 280, 78 400, 95 623 долл. США, что значительно больше цен на обычные асфальты.

В США покрытие дорог асфальтом с содержанием резины оказалось намного дороже, а качество покрытия не отличалось от обычного асфальта. Несмотря на это, новый закон о транспорте поддерживает применение асфальтовых покрытий с содержанием резины.

В Японии резиновую крошку с размерами частиц менее 1 мм используют для изготовления балластных и пластинчатых матов, применяемых для предотвращения колебаний полотна железных дорог.

**Производство регенерата.** Снижение потребления регенерата, получаемого из резиновой крошки, происходит вследствие вытеснения его синтетическими каучуками и переходом шинной промышленности на производство шин радиальной конструкции, требующее резиновых смесей высокого качества. Потребление регенерата составляет лишь 1 % общего объема производства шин. Такая тенденция уменьшения применения регенерата в резинотехнической промышленности прослеживается во всем мире.

**Применение резиновой крошки в полимерных смесях.** Немодифицированную резиновую крошку используют в резиновых смесях различного назначения, в том числе при изготовлении подошвы обуви, массивных шин для малых транспортных средств и протекторов.

Специалисты США изучали возможность использования резиновой крошки в шинах различной конструкции (радиальных и диагональных) и пришли к выводу, что в радиальных шинах резиновую

крошку можно добавлять при изготовлении камеры и каркаса, бегового слоя протектора, а в диагональных шинах — в камерах, каркасе, протекторе (беговая часть и подканавочный слой), боковине, изоляции борта, бортовой ленте, брекере. Максимальное количество крошки — 5...10 %. В результате испытаний было установлено, что, несмотря на снижение некоторых физических свойств, эксплуатационные характеристики шин остаются такими же. Экономия от применения крошки может составлять 20...28 млн долл. США в производстве легковых покрышек и 22...43 млн долл. США — грузовых.

Для улучшения совместимости полимеров при использовании отходов производства, изношенных резинотехнических изделий, шин и полимерных материалов, а также для повышения физико-механических свойств изделий из полиуретана тонкодисперсную крошку модифицируют, обрабатывая газовой смесью, содержащей фтор и еще, по крайней мере, один реакционный газ ( $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ), разбавленный инертным газом. При этом на поверхности крошки появляются реакционноспособные полярные группы и образуется фторированный карбоксилированный слой. При смешивании такой крошки с жидким полиуретаном (ПУ) и последующем структурировании получается композиционный материал. В случае применения ПУ функциональные группы могут вступать в реакции с изоцианитом, полиолом или обоими соединениями. При этом способе можно утилизировать вторичные полимерные и резиновые материалы, трудно разделяемые при сортировке и не подвергающиеся биологическому разрушению.

В 1988 г. разработан поверхностно-модифицированный полиэтилен с ультравысокой молекулярной массой для использования в ПУ.

Использовать модифицированную крошку можно также в эпоксидах и при литье под давлением в качестве наполнителя или модификатора в массивных или пневматических шинах, конвейерных ремнях, деталях автомобиля, подошвах обуви. Получаемый материал гибок и эластичен, как резина, и обеспечивает более высокую водостойкость и сопротивление раздиру, чем ПУ и каучук.

Фирма «Эйр продактс энд кемиклз» (США) предусматривает в ближайшие годы построить ряд заводов, каждый из которых будет выпускать 4,5...9,0 тыс. т модифицированной резиновой крошки в год.

Покрытия площадок, крыш зданий и сооружений изготавливают из смеси резиновой крошки с добавлением 1...1,5 % серы, которую пропускают между двумя вращающимися сжимающими цилиндрами, а затем прессуют при температуре 121...232 °С и давлении 7...12 МПа в течение 1...10 мин с образованием непрерывного полотна.

Для настила пола, покрытий крыш, плиток, ящиков для упаковки и т. д. получают эбонитоподобный материал из смеси 10...30 (25) %

резиновой крошки помола 3...4 мм и 70...90 (75) % отходов пластмасс (пришедшие в негодность полиэтиленовые и полипропиленовые трубы). Смесь формуется под давлением при температуре плавления пластмассы. Материал обладает высокой твердостью и жесткостью, стоек к действию воды и его можно применять в различных климатических зонах. При составе 25 % крошки и 75 % полипропилена ударная прочность материала при температурах 0, 10, 30, 50 и 80 °С соответственно составляет 2,14; 1,51; 0,93; 0,95 и 0,85 МПа.

Строительство спортивных сооружений. В Великобритании в производстве изделий для спорта и отдыха расходуется свыше 20 тыс. т резиновой крошки. Так, фирма «Доу кемикл» использует резиновую крошку и связующие (продукт фирмы) для изготовления спортивных покрытий и литых изделий.

При строительстве спортивных беговых дорожек требуется от 3 до 5 кг резиновой крошки на 1 м<sup>2</sup> дорожки в качестве наполнителя полиуретана. Расход резиновой крошки при строительстве детских игровых площадок составляет около 9 кг/м<sup>2</sup>.

Противоударные дорожки на хоккейном поле, выполняемые толщиной 40 мм, содержат около 40 кг резиновой крошки и 5 кг порошка на 1 м<sup>2</sup> покрытия.

Прочие направления использования порошков из изношенных шин. Проведенные в США исследования влияния шинной крошки на окружающую среду показали, что в случае размещения резины в почвогрунтах с pH < 7 из нее выделяются тяжелые металлы, а с pH > 7 — полициклические ароматические углеводороды. Исходя из этого, шинную крошку в качестве строительного материала можно применять тогда, когда размещают ее выше уровня грунтовых вод.

Ведутся испытания по устройству защитных экранов при строительстве полигонов ТБО из материала, выполненного на основе шинной резины, так называемого «регупола», выпускаемого в виде листов, рулонов и отформованных изделий. В случае успеха эксперимента тонкий слой этого материала можно будет использовать как геомембрану для защиты подземных вод от фильтрата, образующегося в толще свалочного грунта.

Предлагается использовать резиновую крошку в качестве пластикового дренажа при строительстве дорог и зданий. Дренажный слой, укладываемый под дорожным покрытием, состоит из кусков резины, находящихся между двумя текстильными прокладками. Считают, что такой дренаж дешевле и экологически безопасен по сравнению с дренажем, выполняемым из гравия. Высокодисперсные порошки смогут найти применение в качестве сорбентов для очистки водных поверхностей и суши от разливов нефтепродуктов и в водоподготовке городского водопроводного хозяйства.

Для изготовления резиновых коврик американские фирмы «Тинор тайл» и «Атланд мат» ежегодно расходуют 40 тыс. легковых и 33 тыс. грузовых шин.

Фирма «Дьюрабл мат» перерабатывает 250 тыс. грузовых шин в тканевые коврики для рабочих мест, буферы и дренажные трубы.

В Японии крошку помола 1...5 мм применяют при производстве бетонных дамб для предотвращения усадочных трещин.

В России разработан и доведен до промышленного внедрения ряд технологий получения изделий из резиновой крошки, соответствующих последним зарубежным технологиям. Так, в системе РАН разработаны и доведены до промышленного внедрения методы получения кровельных и гидроизоляционных материалов на основе резиновых порошков и вторичных полимеров. Разработаны методы получения широкой гаммы литевых материалов на основе термопластов и смешанных наполнителей (резиновые порошки и дисперсные минеральные наполнители), метод модификации резиновых порошков, с помощью которого можно изготавливать изделия из них без применения эластомерного или термопластичного связующего, а также технология получения литевых материалов на основе термопластов и резиновых порошков.

## **5.6. ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ СТЕКЛОБОЯ**

За последние время в России резко изменилась структура отходов стеклобоя в связи с продажей больших объемов алкогольных напитков и пива, бутылки из-под которых не являются оборотной тарой, и предприятия торговли не принимают их у населения. В результате они попадают в бытовые отходы, что ежегодно увеличивает их объемы и расходы на захоронение.

За рубежом накоплен большой опыт по организации сбора, переработке и использования стеклобоя. В западноевропейских странах сбором стеклобоя занимаются фирмы, специализирующиеся только на сборе и переработке этого вида вторичного сырья. Лишь в некоторых странах, например Венгрии и частично в Австралии, стеклобой собирают организации типа контор по сбору вторичного сырья, заготавливающие различные отходы (макулатуру, резину, древесину и т. д.). Для сбора стеклобоя за рубежом используют специальные контейнеры (скипы), устанавливаемые на улицах в местах возможного образования стеклобоя. Наряду со стационарным способом во многих странах применяют передвижной способ сбора стеклобоя с последовательным объездом жителей города и предприятий. Установка крупноразмерных контейнеров предприятиями — приемщиками стеклотары — экономически оправданный способ, широко использующийся в индустриально развитых странах. При этом городские власти выплачивают сборщику ренту за сбор стекла, что способствует решению проблемы утилизации мусора. Широко применяют передвижные механизированные приемные пункты, где

стекло вручную сортируют по цвету (бесцветное и смесь желтого и зеленого), измельчают и собирают его в контейнеры по 10 кг.

В США перерабатывают стеклобой фирмы—производители стекла совместно с пунктами сбора и первичной обработки стеклобой.

Очистку стеклобой за рубежом при использовании его в стекловарении разделяют на мокрую и сухую, последнюю используют чаще. В каждом случае предусматривают ручную сортировку (по цвету, определению керамических включений), удаление легких примесей и металлов. Для очистки стеклобой используют ленточные транспортеры, сита и грохоты, дробильно-помольное оборудование, воздушные и магнитные сепараторы.

Успешная работа по сбору стеклобой за рубежом связана с высокой культурой населения и обширной информационной работой по привлечению его к программам вторичного использования ресурсов. Внедрению системы «банк бутылок» в Великобритании предшествовало проведение общественных мероприятий: организация соревнований между школами, выпуск настенных плакатов, установление премий за сбор сырья, широкое освещение в печати и по телевидению и пр. Следует отметить, что около 73 % стеклобой (в Западной Европе) собирают в сфере потребления (главным образом стеклотара). В отдельных странах охват населения сбором стеклобой очень высок: во Франции — 70 %, Швейцарии и Бельгии — 90, в Нидерландах и ФРГ почти 100 %. Лишь в Ирландии и Италии он составляет соответственно 7 и 11 %.

Во всем мире стеклобой используют в основном для производства тары (банок, бутылок), так как требования к постоянному химическому составу стекломассы менее жесткие. Так, в Великобритании используют 15 % стеклобой, в США — 20...30, в Венгрии — 20, в Чехии, Германии — 30 и в Нидерландах — 40 %. На отдельных предприятиях в Швейцарии, США, Австрии, Германии и других странах перерабатывают от 60 до 85 % стеклобой, а в некоторых случаях и до 100 %. При варке зеленого стекла в Германии применяют до 70 % стеклобой, коричневого — до 45 % и бесцветного — до 25 %. В Швейцарии в фирме «Ветропак» работает стекловаренная печь производительностью 200 т/сут зеленого стекла. Шихта содержит 80...85 % стеклобой. Экономия топлива при этом составляет 0,25 % на 1 % используемого стеклобой.

В промышленности Канады опробована технология варки стекла из шихты, содержащей 100 % стеклобой. Решающие условия успешного процесса варки — гранулометрический состав боя и температурный градиент, обеспечивающий быстрое расплавление стеклобой уже в зоне загрузки. Технологический процесс варки такого стекла не вызывает затруднений при обеспечении оптимального гранулометрического состава стеклобой.

Проблему гомогенизации и усреднения расплава при использовании больших количеств стеклобой решают благодаря системе до-

полнительного электроподогрева, за рубежом такую систему имеют 90 % печей тарного стекла. В результате использования стеклобоя при варке стекла достигают экономии топливно-энергетических ресурсов 0,2 % на 1 % используемого стеклобоя.

Опыт зарубежных стран, в частности Германии, показывает, что фирмы, занятые сбором стеклобоя, поставляют его специальным заводам полностью подготовленным к стекловарению, т. е. очищенным от примесей и размолотым до требуемых размеров.

В ряде европейских стран, США, Австралии и Японии внедряют системы регенерации стекла из твердых бытовых отходов, где его содержится 8...10 % от всех собираемых отходов. В США, Италии, Франции, Испании, Нидерландах, Швеции, Великобритании при сортировке городских отходов стекло сортируют по цвету и дробят.

Разработаны машины-автоматы, которые принимают тару у населения, сортируют ее по цвету и измельчают. Производит эти автоматы фирма «Инвайроментал продакте» (США). Такие автоматы оборудованы микропроцессорами, блоками памяти, лазерными сканирующими устройствами, считывающими универсальный код, нанесенный на этикетки бутылок для учета поступающей стеклотары.

Введение в стекломассу 10 % боя экономит 2...2,5 % топлива. Поэтому переработчики стеклобоя постоянно внедряют новые технологии по обработке и подготовке стеклобоя к конечной переработке на стеклозаводах.

Создаются специальные заводы-посредники по переработке боя, например, в Великобритании несколько таких заводов введено в эксплуатацию. Один из наиболее современных — завод фирмы «Юнайтед Глас Контейнер» оснащен компьютерами и автоматической системой обнаружения и изъятия металлов производительностью 650 т боя в неделю, его обслуживают 3 чел. при работе в одну смену.

В Чехии ежегодно используют около 280 тыс. т отходов стекла, из них половина — отходы производства, остальные — отходы потребления. Применяют стеклобой главным образом в производстве тарного стекла, его содержание в шихте составляет 30...32 %.

В США, Канаде и Германии в последние 10 лет созданы проекты, в которых отходы тарного стекла применяют при строительстве автомобильных дорог. Так, строительный факультет университета в Миссури (США) разработал материал «гласфальшт», состоящий из 60 % молотого стекла, 5 % асфальта, 33 % каменной муки и других примесей. Этот материал использовали при строительстве нескольких автомобильных дорог, попутно были проведены испытания на сдвиг и устойчивость к атмосферным явлениям, а также на долговечность при нормальных условиях эксплуатации.

Фирма «Глас Файберг» (Англия) разработала способ производства стекловолокна из стекольных отходов, позволяющий снизить его стоимость на 30 %.

Калифорнийский университет (США) из измельченного смешанного по цвету тарного стекла запатентовал способ производства пеностекла, из которого можно изготавливать кирпич и блоки.

Предложенный школой горного дела в Колорадо (США) новый материал — тиксит вырабатывают из дробленого стеклобоя (32 %), строительного бутового камня (2 %) и глины (6 %). Плиты, получаемые из тиксита, очень прочны, отличаются низким водопоглощением, красивы по внешнему виду, их производство обходится дешевле, чем производство стандартных пеноматериалов.

Ассоциация американских изготовителей стеклотары разработала новый вид белых и цветных кирпичей из старой газетной бумаги и стеклобоя. Масса их на  $\frac{2}{3}$  меньше, чем у обычных кирпичей, а стоимость на 30 % ниже. Кирпичи отличаются огнеупорностью и водостойкостью.

Зарубежные фирмы изучают возможность применения измельченного стекла в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв и в качестве стимулятора роста растений, а также и в птицеводстве.

Имеется опыт применения стеклобоя в качестве заполнителя при производстве лакокрасочных материалов, обойной бумаги, пластмасс, битума, абразивных материалов для стеклянной шлифовальной шкурки на бумажной основе и шлифовальных кругов.

Уменьшение негативного воздействия отходов стеклобоя на окружающую среду может быть достигнуто внедрением системы сбора стеклоотходов, которая должна включать пять основных пунктов:

1. Организация сдачи стеклобоя предприятиями, имеющими в производстве отходы стекла.
2. Оснащение стационарных пунктов в муниципальных округах по приему импортной и невозвратной стеклотары и стеклобоя специальными контейнерами и дробилками для стекла.
3. Сбор стеклобоя в специальные контейнеры, устанавливаемые в жилых кварталах.
4. Постоянная информация населения по радио и телевидению о значении раздельного сбора вторичного сырья в целях сохранения экологии.
5. Строительство или развитие склада—наполнителя стеклобоя и отгрузочного терминала для отправки сортированного стеклобоя на перерабатывающие предприятия.

Как видно из вышеперечисленного, основу системы сбора стеклобоя должна составлять развитая сеть контейнерных площадок и стационарных пунктов сбора стеклоотходов, специальный транспорт для перевозки контейнеров со стеклоотходами и хорошо оснащенный промежуточный склад с терминалом для хранения и отправки вагонов со стеклоотходами на перерабатывающие заводы.

В строительстве широко используют теплоизоляционные материалы, выпускаемые на основе вспененной стекломассы. Теплоизоля-

ционные материалы из стеклобоя на основе вспененной стекломасы имеют высокие эксплуатационные характеристики: негорючи, нетоксичны, биостойки, обладают низкой теплопроводностью, водостойки, пароводонепроницаемы, безвредны и долговечны.

Теплоизоляционные материалы на основе стекла имеют широкую область применения: для изоляции стен, перекрытий, кровли, при изготовлении сэндвич-панелей, для утепления трубопроводов, тепловых и холодильных агрегатов, как легкий заполнитель бетона.

Организацию производства теплоизоляционных материалов осуществляют, как правило, в два этапа: первый — переработка стеклобоя в теплоизоляционные гранулы, второй — в теплоизоляционный плитный материал.

Организация производства на первом этапе (пока создается новая система сбора стеклоотходов) не требует сортировки стеклобоя по цвету и очистки от органических и металлических примесей.

## 5.7. ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ

Основными источниками образования древесных отходов являются различные лесопромышленные комплексы и деревоперерабатывающие комбинаты. Эти отходы могут найти применение в производстве щепы и стружки, которая, в свою очередь, является ценным сырьем для производства различных материалов и изделий.

Древесные отходы также образуются при рубке низкокачественной древесины, вершин, крупномерных сучьев, окаймлевке хвойных и лиственных пород (зелени) и т. п. работах, именуемых санитарной рубкой, в процессе ухода за зелеными насаждениями на улицах, в парках, скверах, бульварах и лесопарках.

Кроме того, в составе бытовых отходов, образующихся в городах, содержится достаточно большое количество древесных отходов.

Древесные отходы (образующиеся при распиловке древесины и от рубок ухода) в зависимости от их качества используют на различные цели. Далее рассмотрено использование отходов древесины в Москве.

Вид переработки	% использования
Потребление в переработанном виде	49,1
В том числе:	
целлюлозно-бумажное производство	13,6
древесно-стружечные плиты	5,0
древесно-волокнистые плиты	4,0
древесно-цементные материалы	0,9
гидролизное производство	8,9
Потребление в непереработанном виде	50,9
В том числе:	
на топливные нужды	29,2
для реализации населению, сельскохозяйственным и промышленным предприятиям	6,2

Для производства древесно-волоконистых плит (ДВП) применяют в основном отходы переработки древесины хвойных пород.

Для производства древесно-стружечных плит (ДСП) используют технологическую и дровяную древесину, кусковые отходы лесопильно-деревобрабатывающего и фанерного производства, стружку и др. В последние годы все шире применяют низкосортный пиловочник, токомерную древесину, отходы лесозаготовок и древесины от рубок ухода. Оборудование для производства ДСП изготавливает фирма «Бизон-Верке» (Германия). В качестве сырья рекомендуют использовать тонкомер ели и пихты, выдержанный не менее двух месяцев, причем указанные виды древесных отходов, как правило, идут в средние слои трехслойных плит. Щепу из лесосечных отходов используют в соотношении лиственных и хвойных пород — 1 : 1, коры — до 25 %, зелени (хвои) — до 10, минеральных включений — 1 %. Щепу из лесосечных отходов в основном применяют для внутреннего слоя многослойных ДСП. Технология изготовления ДСП включает следующие этапы: сортировку сырья, измельчение его в стружку или щепу, сушку измельченной древесины, смешение со связующим, формирование стружечного ковра, разделывание его на пакеты, прессование, обрезку плит, охлаждение, сортировку и последующее складирование.

Важнейшим направлением рационального использования древесины в строительной индустрии является производство различных древесных бетонов, таких, как арболит, фибролит, стружкобетон, опилкобетон, королит, костролит. Наиболее эффективный из них — арболит, который представляет собой легкий крупнопористый бетон, приготавливаемый на минеральном (цементном, гипсовом, известковом) вяжущем с заполнителем из органических материалов. В качестве древесного заполнителя в цементном арболите используют в основном отходы от лиственных пород. Арболит применяют прежде всего в строительстве малоэтажных зданий в соответствии с ГОСТ 19010 «Блоки стеновые бетонные и железобетонные», он эффективен при строительстве одно-, двухэтажных домов, в основаниях под паркет и в теплоизоляционных панелях. На изготовление 1 м<sup>3</sup> арболита идет в среднем 160...250 кг древесной дробленки и 260...390 кг портландцемента марки 400. При использовании цементного вяжущего низкой водопотребности (ВНВ), гипсового или известкового вяжущего возможно применение древесных отходов без жестких ограничений. Существует типовая технология по изготовлению арболитовых блоков производительностью 5 и 12 тыс. м<sup>3</sup> блоков в год. В Москве на вагоноремонтном заводе им. В. Е. Войтовича освоили выпуск блоков типа арболит, где в качестве древесного сырья используют отходы, образуемые при измельчении тары.

Опилкобетон изготавливают и применяют в виде монолита для наружных стен при строительстве одноэтажных зданий. Состав раствора: портландцемент — известь — песок — опилки — 1 : 1 : 3 : 5.

Опилкобетон широко применяют в странах Балтии для строительства одно-, двух-, четырех-, шести- и восьмиквартирных бескаркасных жилых зданий в качестве стенового материала. На изготовление  $1 \text{ м}^3$  опилкобетона в среднем идет 110...150 кг опилок.

Опилочные блоки, изготавливаемые с использованием некондиционных опилок и стружки, выпускает ГП «Промотходы». Технология производства состоит в смешении древесных опилок с химическими добавками, водой и цементным вяжущим, последующем вибропрессовании массы в формах определенных размеров и выдержке блоков в течение 7 сут.

Получение экологически чистых дешевых строительных материалов, свободных от десорбирующих химических веществ типа фенолформальдегидных смол, — одна из важных проблем строительного материаловедения.

Установлено, что используемые в мебельном производстве и жилищном строительстве материалы, такие, как ДСП, ДВП, получаемые с использованием фенолформальдегидных смол, выделяют свободные фенол и формальдегид в дозах, в десятки раз превышающих предельно допустимые концентрации, являются канцерогенно-опасными веществами. Поэтому в развитых странах мира, включая Россию, введены ограничения и запреты на производство плит и изделий из них, что обусловило необходимость разработки альтернативных экологически чистых и дешевых материалов.

Одно из перспективных направлений использования древесных отходов — получение плит без использования полимерного связующего — пластитов. Пластиты можно использовать в строительстве для устройства пола, встроенной мебели и других целей.

Технологический процесс производства пластитов состоит из подготовки, сушки и дозирования древесных частиц, формования ковра (пакета), холдной подпрессовки ковра (пакета), горячего прессования и охлаждения без снятия давления, обрезки кромок и кондиционирования (сушки) готовых плит.

Пьезотермопластики — это плитный материал, получаемый в результате обработки измельченной древесины при высоких давлениях и температуре без связующих веществ. Известны два способа изготовления: без предварительной обработки древесных отходов и с гидрообработкой их горячей водой или паром перед прессованием.

По первому способу изготавливают плитный материал в такой последовательности. Опилки естественной влажности доставляют в приемный бункер и оттуда винтовым конвейером подают на электромагнитный сепаратор и инерционный сортировочный конвейер для отсева крупных частиц и примесей. Кондиционное сырье поступает в бункер сырья, а крупные фракции — в топку бункера для сжигания. Из бункера сырья опилки подают в пневмогазовую сушилку, где опилки сушат во взвешенном состоянии горячими газами, поступающими из газовой топки или котельной.

Плиты формируют на конвейере. Сначала формы загружают опилками и предварительно их подпрессовывают в течение 20...30 с под давлением 2...2,5 МПа. Подпрессованные формы направляют в многостажный пресс горячего прессования. Влажность опилок перед прессованием 5...20 %, температура пресса при изготовлении плит в зависимости от требуемой водостойкости плиты колеблется от 140 до 160 °С. Продолжительность выдержки зависит от температуры и соответствует 1,5...4,0 мин на 1 мм толщины плиты.

Производительность линии при трехсменной работе составляет 500 тыс. м<sup>2</sup> в год, необходимое количество опилок — 12 тыс. м<sup>3</sup> в год.

В России разработаны новые высокоэффективные методы получения экологически чистых древеснонаполненных пластмасс (ЭДНП), исходным материалом для получения которых служат древесные опилки, стружка и другие отходы растительного происхождения, а в качестве полимерного связующего — термопласты (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и др.) и их отходы. Изделия из ЭДНП обладают абсолютной экологической чистотой, высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками, имеют низкое водопоглощение, биологически стойки (не разрушаются бактериями, грибом, термитами), хорошо поддаются механической обработке. Физико-механические и эксплуатационные показатели изделий из ЭДНП выше, чем из ДВП, ДСП, асбестовых плит, древесины. Разработанная технология получения ЭДНП позволяет использовать в композиции до 80...85 % древесных отходов.

Технология переработки ЭДНП позволяет использовать экструзию, прессование и литье, поэтому можно создавать изделия любой формы и конфигурации (ажурные, с рельефными вставками, фигурной аппликацией из разных материалов, скульптурными элементами).

Из рассмотренных материалов могут быть получены ограждающие строительные конструкции и отделочные материалы, в том числе отделочная и мебельная доска, плинтусы, наличники, подоконные плиты, внутренние перегородки зданий, витражи, двери внутренние и наружные, элементы устройства пола и потолка и др.

Доля использования древесины в целях получения энергии существенно возросла в странах ЕС и в США. Получение энергии от сжигания древесины в общем объеме энергопотребления в разных странах различно и колеблется от 0,81 % в б. СССР до 16,27 % в Швеции.

Одно из перспективных направлений повышения энергетической ценности древесных отходов, в том числе и коры, — брикетирование, состоящее из сбора, хранения, сушки, измельчения до необходимых размеров, смешения со связующим веществом, прессования и охлаждения брикетов.

Линия по изготовлению топливных брикетов перерабатывает в смену 18...22 м<sup>3</sup> древесных отходов (около 6000 кг). Размеры брике-

тов 160 × 68 × (25...40) мм, габаритные размеры технологической линии 43 × 18 × 2 м.

Преимущество топливных брикетов заключается в следующем: меньшая вместимость помещений для хранения; повышенная теплота сгорания (до 17 000 кДж/кг); малая зольность; отсутствие при горении вредных веществ и запахов.

Так, в Литве на Клайпедском комбинате древесных материалов налажено производство топливных брикетов. Ежегодный выпуск брикетов составляет 6,0 тыс. т.

В США и Канаде такие топливные брикеты пользуются большим спросом в качестве топлива для каминов.

Стоимость 1 т таких брикетов на мировом рынке — около 40 долл. США.

Недостатки таких установок — быстрый износ матрицы и прессового шнека и необходимость их замены через каждые 40 т выпущенной продукции.

В Германии были разработаны технология и оборудование для введения низкосортных отходов древесины в массу при изготовлении кирпича. В шихту вводят до 20...25 % древесных отходов. При этом снижаются расходы сырья и топлива, улучшаются технологические свойства массы и кирпича. На Вестфальском кирпичном заводе (Германия) древесные отходы, измельченные до состояния мягкой стружки, поступают дозированными порциями непосредственно в открытое пламя, образуемое мазутными форсунками.

В США разработана и действует технология по переработке древесных отходов различного происхождения в городах производительностью 360 т/сут. В качестве сырья используют самые разнообразные древесные отходы, часто содержащие гвозди, болты, стальную проволоку, ленту и другие металлические твердые детали. Эти отходы разделяют на части методом флотации, затем дробят на мелкие куски, разделяют и сортируют на магнитных сепараторах. Отсортированная древесина поступает на термомеханическую переработку в древесную массу с последующим использованием в производстве бумаги и картона.

Как указывалось ранее, практически для всех строительных материалов, изготавливаемых из древесных отходов (от санитарных рубок и рубок ухода), ограничивается содержание коры, отрицательно влияющей на гидратацию цементного вяжущего. Однако имеется много технологий, подтверждающих, что древесная кора является ценным органическим сырьем для получения промышленной продукции, медицинских препаратов, а также топлива. Количество коры у деревьев различных пород зависит от диаметра ствола, места произрастания дерева, части ствола. На стволах различных пород деревьев отношение количества коры к объему стволов составляет, %: для сосны — 11...17, ели — 9...16, березы — 13...15, осины — 11...18, дуба — 16...23, лиственницы — 22...24, кедра — 11...16, пихты — 11...15 (при толщине ствола от 8 до 64 см). До недавнего времени древесную кору считали безвозвратным отходом и вывозили в отвалы. Однако помимо расходов на вывоз при хранении коры образуются высококонцентрированные фенольные стоки, наносящие вред окружающей среде.

Эффективность окорки разными способами различна. При сопоставимых условиях потери древесины в процессе окорки достигают, %: на ножевых станках — 18, механическим способом — 0,8, фрикционным — 3. Самый доступный вид использования отходов окорки — в качестве топлива. Этот вид утилизации имеет следую-

щие преимущества: удельная теплота сгорания абсолютно сухой коры в среднем больше, чем у древесины; низкая стоимость древесной коры зависит только от затрат на транспортировку и подготовку к сжиганию; продукты сгорания древесной коры значительно меньше загрязняют окружающую среду, так как содержат минимум соединений серы по сравнению с минеральными видами топлива. Его недостатки — высокая влажность получаемых отходов окорки, наличие минеральных примесей.

Кору начинают широко применять и в сельском хозяйстве в качестве заменителя торфа при выращивании овощей (это касается только коры из экологически чистых мест — лесопарковой зоны). Кора содержит все основные, кроме азота, элементы питания растений, которые в процессе минерализации становятся им доступными.

Разработана технология компостирования коры, суть которой в следующем: измельчение сырой коры, поступающей от окорочных станков, на корорубках; добавление в измельченную кору азота и фосфора в виде мочевины дозой  $4,3 \text{ кг/м}^3$  и двойного суперфосфата —  $1,5 \text{ кг/м}^3$ ; кору, измельченную и обогащенную азотом и фосфором, в зависимости от свойств и степени измельчения выдерживают от 2...6 недель до 1...1,5 лет.

Наиболее широко распространен способ компостирования коры в буртах шириной по основанию 2...10 м и высотой 1,5...3 м. Для аэрации компостируемой массы бурты перелопачивают или обеспечивают их принудительной вентиляцией. Оптимальная температура в буртах  $40...60^\circ\text{C}$ , влажность 60...70 %, pH от 5,5 до 9,0. Для измельчения коры могут быть использованы корорубки модели МК-5-1 и МК-10.

При компостировании совместно с корой можно использовать опилки и стружку. Промышленная установка по производству удобрений из коры внедрена на мебельной фабрике «Кировмебель» производительностью 70 т в сутки.

Затраты на внедрение технологической схемы получения удобрений из коры окупаются за 8...9 мес.

Имеется опыт компостирования коры хвойных пород древесины и использование таких компостов в качестве тепличных грунтов. При выращивании огурцов на компостах без дополнительного обогрева можно получить с  $1 \text{ м}^2$  урожай в среднем на 2,3 кг больше, чем на участках с использованием низинного торфа.

Разработана технология приготовления из коры осины запаренных и незапаренных «хлопьев». При скармливании животным 3...5 кг в сутки получаемых продуктов в течение 2,5 мес молочная продуктивность подопытных коров повысилась по сравнению с контрольными на 0,8...0,9 кг.

В производстве строительных материалов кору используют в нескольких направлениях.

Королит — теплоизоляционный или конструктивно-теплоизоляционный материал, получаемый из коры, строительного гипса

(или цемента) и добавок. Технология изготовления королита включает сушку коры, смешение ее с раствором антисептика, замедлителем схватывания и гипсовым вяжущим. Готовую смесь укладывают в форме и уплотняют при давлении 0,03...0,04 МПа. Плиты, выполненные на гипсовом вяжущем, применяют в качестве утеплителя при устройстве стен и полов, а плиты, выполненные на цементном вяжущем, — в качестве конструктивно-теплоизоляционного материала при устройстве ограждающих конструкций и перегородок.

В США и Германии, так же как и в России, кору используют при компостировании.

Один из путей использования древесных отходов, например переработка кроны на различные кормовые добавки и лекарственную продукцию. Технология получения такой продукции основана на измельчении зеленой части кроны с последующим разделением ее на древесную зелень и щепу.

Отходы от переработки древесины можно применять при производстве технического углерода, используемого как сорбент при водоподготовке, а также в нефтегазодобывающей промышленности. Производительность установки, перерабатывающей 10 000 м<sup>3</sup> древесины, составляет 3000 т технического углерода в год. Капитальные затраты на создание такого производства, по данным ЗАО «Карбопром», будут составлять 2598,0 тыс. долл. США. Срок окупаемости 3,3 года.

В начале 60-х годов был разработан и широко внедрен способ производства из древесной зелени витаминной муки для обогащения комбикормов каротином. Витаминную муку производят из древесной зелени (листьев, хвои, молодых неодревесневших побегов и отходов эфирно-масличного производства) и быстрого высушивания измельченной древесной зелени в потоке горячего теплоносителя и последующего его размола до частиц размером 1,5...2 мм.

Хвойная хлорофиллокаротиновая паста — это лечебный препарат, включающий жирорастворимые витамины и антимикробные вещества хвои. Способ получения пасты заключается в экстракции смолистых веществ из хвои путем обработки их водным раствором щелочи. Побочные продукты производства: хвойный воск (используют в парфюмерии) и эфирные масла. Разработан типовой проект лесобиохимического цеха для выработки хлорофиллокаротиновой пасты, хлорофиллина натрия, эфирных масел, провитаминного концентрата и хвойного воска.

Из древесной зелени путем прессования можно получить натуральный клеточный сок как хвойных, так и лиственных пород, которые ценны содержанием большого количества витаминов и микроэлементов. Их применяют в сельском хозяйстве, медицине, пищевой промышленности, для скармливания животным, изготовления витаминных препаратов, добавляют в безалкогольные напитки, мармелад, вина.

Значительную долю переработки хвойной древесной зелени как в России, так и за рубежом (например, в Болгарии, Франции и др.) составляет производство эфирных масел.

Веточный корм в зависимости от сезона заготовки и породы деревьев можно применять в животноводстве для возмещения недостатка грубых кормов.

Из сосновых пней можно производить канифоль, скипидар, древесную смолу, сосновые масла. Древесина старого соснового пня содержит 19 % канифоли, 4 — скипидара, 4 — смолы, нерастворимой в бензине, 23 — воды и 50 % — целлюлозы и лигнина.

Древесная мука представляет собой продукт сухого измельчения древесины. Ее используют как наполнитель, фильтрующий материал и поглотитель в различных отраслях промышленности. Древесную муку можно изготавливать из древесины хвойных, лиственных пород и их смеси.

Зеленую массу применяют при производстве репелентов садовых вредителей, против грызунов и зайцев в садах и питомниках.

Как было отмечено ранее, в городском хозяйстве при проведении ежегодных сезонных работ по уборке садов, парков и газонов образуется значительное количество древесно-растительных отходов: скошенная трава, опавшая листва, ветки от обрезки деревьев, а также древесина от валки деревьев. В Москве, как и в большинстве российских городов, перечисленные отходы собирают в кучи, а затем вывозят на свалки. При этом питательные вещества, выносимые из почвы (например, НРК), не восполняются или восполняются в незначительных количествах.

При переработке древесно-растительных отходов методом компостирования ежегодно можно получать полноценное органическое удобрение, использование которого в лесопарковом хозяйстве города значительно улучшает физико-химический состав почв.

Высокая антропогенная нагрузка, которую испытывает городская растительность в черте города, нарушает ее биологическую устойчивость. Случаи массового усыхания городской растительности, как правило, связаны с действием антропогенных факторов (нарушение почвенного покрова в результате проведения строительных работ; изменение химических и физико-химических свойств почвы под влиянием негативных антропогенных факторов; сокращение питательных веществ в почвенном покрове, основной причиной которого является нарушение состава и последовательности проведения агротехнических мероприятий по уходу), в результате чего снижается численность высших растений и других представителей полезной фитофлоры.

Так, количество древесных отходов, образующихся при санитарной порубке и рубке ухода, по данным Московского лесопаркового территориального объединения «Мослесопарк», составля-

ет более 15 млн м<sup>3</sup> скошенной травы и более 10 тыс. м<sup>3</sup> опавшей листвы в год.

Древесные отходы поступают в виде веток, сучьев, поленьев, бревен и пней. Для переработки в компост в качестве наполнителя наиболее пригодны древесные отходы, поступающие в виде ветвей и сучьев, так как они требуют меньше трудовых и энергетических затрат при подготовке и переработке.

Древесные отходы на 95 % состоят из клеточных оболочек, содержащих до 44...46 % целлюлозы, до 20...28 — лигнина и до 15...17 % жиров, смол, воска, белков, протеинов. Влажность, как правило, составляет около 45 %. Содержание углерода в абсолютно сухом веществе древесных отходов 49,5, азота — 0,1...1,2 %.

Известно много приемов, способствующих разложению древесно-растительных отходов с переработкой их в гумус, которые можно разбить на три группы: первая — физическое воздействие (измельчение, аэрация, увлажнение); вторая — химическое воздействие путем внесения органоминеральных добавок; третья — биологическое воздействие путем применения бактериальных добавок.

Исследования показали, что большая площадь общей поверхности измельченных древесно-растительных отходов создает благоприятные условия для ускорения биологических процессов, так как воздух быстрее проникает в отходы и заменяется свежим. Поэтому аэробные условия легче возникают в компактных штабелях с крупнозернистым материалом (25...50 мм), чем в штабелях со средней (8...25 мм) и мелкой (менее 8 мм) зернистостью. Следовательно, оптимальный размер частиц для измельченных отходов 25...50 мм.

К более быстрому нагреванию материала приводит его аэрирование. При этом зеленая масса освобождается от продуктов, тормозящих аэробные процессы. Масса микроорганизмов в данном случае увеличивается и вступает в контакт с вновь образующимися продуктами питания.

Результаты проведенных экспериментов показали, что при влажности отходов около 50 % и содержании в них до 85...90 % органического вещества по сухой массе для разложения 1 кг отходов должно быть подано около 0,9 м<sup>3</sup> воздуха.

Схематически основные фазы микробиологического процесса разложения органического вещества отходов можно представить следующим образом. Сначала компостируемая масса имеет температуру окружающего воздуха. Затем, по мере размножения микроорганизмов, она постепенно повышается до 40 °С за счет усиленного размножения мезофильных микроорганизмов. Дальнейшее повышение температуры в компостируемой массе приводит к гибели мезофилов и размножению более теплолюбивых микробов — термофилов. Это наиболее важная стадия в процессе компостирова-

ния, так как микроорганизмы проявляют здесь наибольшую активность и окислительные процессы интенсифицируются.

Затем температура постепенно снижается, доходит до мезофильной стадии и процесс затухает.

Высокие температуры, достигающие в процессе компостирования 60...70 °С, губительно действуют на болезнетворные микроорганизмы и семена сорняков, содержащиеся в отходах.

Наиболее важные факторы, влияющие на процесс компостирования: влажность исходного материала, степень аэрации, физико-химический состав, реакция среды и др. При оптимальном соотношении этих факторов можно получить ценное органическое удобрение в течение 3...4 мес.

Содержание влаги — один из наиболее важных показателей оптимального компостирования. Для органических отходов содержание влаги составляет 25...80 % и зависит от состава исходного материала. При компостировании древесно-растительных отходов исходную влажность поддерживают в пределах 60...70 %.

Наличие достаточного количества кислорода — одно из главных условий жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Процесс аэрации в компостируемой массе может происходить за счет естественного воздухообмена и искусственной подачи воздуха. В зависимости от температуры для ускорения процесса компостирования используют принудительную подачу воздуха и дополнительное увлажнение. Принудительная подача воздуха позволяет отказаться от такой трудоемкой операции, как ворошение или перелопачивание компостируемой массы, необходимое при естественном воздухообмене.

Большое влияние на процесс компостирования оказывают углерод и азотистые вещества, содержание которых определяется соотношением С : N. Для интенсивного протекания процесса компостирования желательно, чтобы эта величина к азоту составляла 25 : 1...30 : 1. В растительной части отходов такое соотношение, как правило, соблюдается. В древесных отходах содержание азота, фосфора и калия значительно меньше, чем углерода. В этом случае для соблюдения оптимального соотношения С : N применяют добавки в виде минеральных удобрений.

Микроорганизмы, присутствующие в древесных отходах, довольно чувствительны к реакции среды. Оптимальным для развития большинства микроорганизмов является поддержание рН в пределах 6...7,5.

Измельчение отходов перед компостированием способствует ускорению биохимических процессов, происходящих при их переработке, так как увеличивает площадь поверхности, материал становится более однородным для аэрации. Дробленые отходы нагреваются более равномерно, противостоят излишнему высушиванию и предохраняют массу от потери тепла. Оптимальный размер частиц для компостирования 35...50 мм.

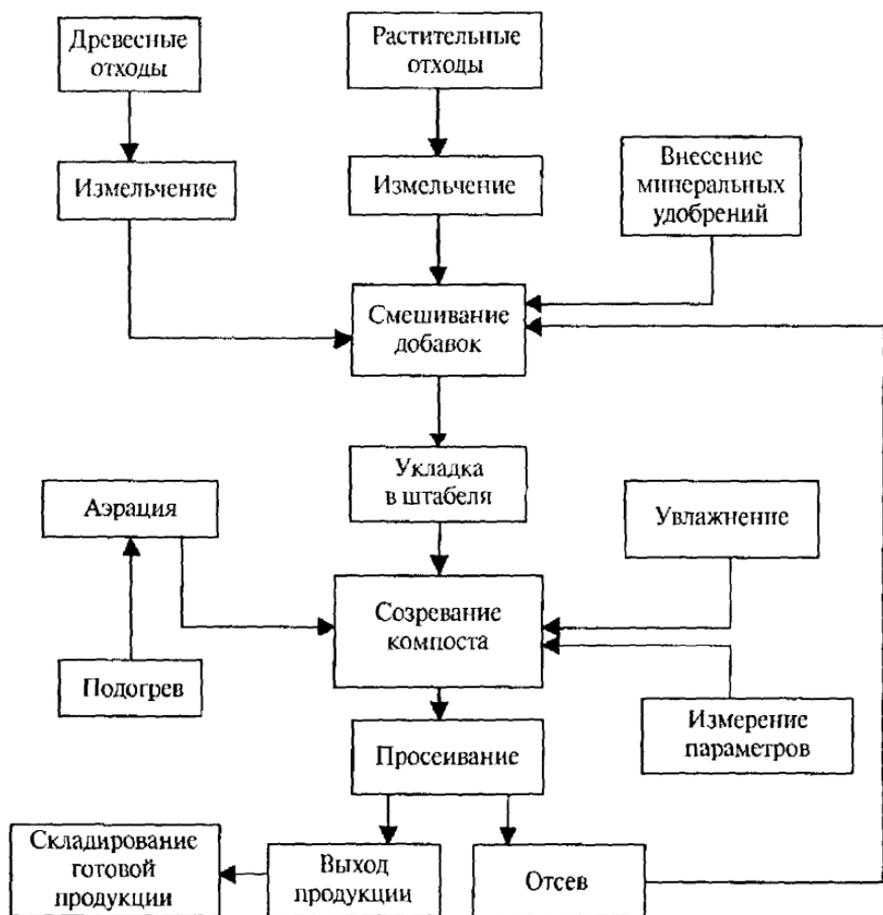


Рис. 5.1. Структурная схема технологического процесса переработки древесно-растительных отходов компостированием в штабелях на открытой площадке

Один из простых и доступных методов переработки древесно-растительных отходов — метод компостирования их в штабелях на открытой площадке (полевой метод). Полевое компостирование в штабелях проводят в естественных условиях на специально отведенных площадках, размеры и технологическое оборудование которых определяются составом и объемом отходов, подлежащих переработке. Структурная схема технологического процесса переработки древесно-растительных отходов компостированием в штабелях на открытой площадке показана на рисунке 5.1.

Технология переработки древесно-растительных отходов в штабелях на открытой площадке заключается в следующем. Собранные в городском хозяйстве и доставленные на площадку древесные от-

ходы поступают в подготовительное отделение, где с помощью дробилки их измельчают. Затем измельченные древесные отходы для соблюдения оптимального соотношения С : N смешивают с необходимым количеством минеральных добавок и складывают. Растительные отходы, доставленные на площадку, поступают непосредственно в отделение смешивания, где транспортером их подают в один из бункеров смесителя. В другой бункер смесителя также транспортером подают доставленные со склада автопогрузчиком уже подготовленные древесные отходы. Смешивают отходы в определенной пропорции по массе: 1 часть растительных и не более 2,5 части древесных отходов лопастным смесителем. В процессе смешивания отходы превращаются в компостируемую массу, которую автопогрузчиком доставляют к месту формирования компостных штабелей, и укладывают на заранее подготовленное основание. При формировании компостный штабель укрывают слоем почвенного грунта для предотвращения потери тепла и влаги.

Для интенсификации биотермического процесса проводят аэрирование компостируемой массы, для чего в основании штабелей прокладывают трубы с перфорацией, по которым принудительно подают воздух. При компостировании на открытых площадках заморозгов органических масс в холодное время года замедляется или полностью приостанавливается, поэтому оптимальную температуру в штабеле необходимо поддерживать искусственно. Подогрев воздуха, предназначенного для аэрации штабелей в холодное время года, подогревают в печи. В качестве топлива, загружаемого в печь, используют часть имеющихся древесных отходов.

В процессе компостирования штабеля периодически увлажняют, поливая водой, которую подают из искусственного водоема или водопровода.

Неотъемлемая часть технологии — контроль физико-химических параметров (влажности, температуры, содержания кислорода) компостируемой массы. Контролируя эти параметры, определяют оптимальность проходящих биологических процессов, а также окончание созревания компоста.

Технические условия на получение компоста приведены далее.

Показатель	Содержание
Содержание влаги	50 %
Содержание органического вещества на сухую массу	50 %
Содержание питательных элементов на 1 кг сухой массы, мг:	
азот общий	0,5
фосфор	0,4
калий	0,3
Соотношение С : N	30
Размер частиц компоста	До 30 мм
pH	Не менее 6,0

На основе компоста приготавливают грунтовую смесь, которую и используют в зеленом хозяйстве города.

Компостирование древесно-растительных отходов решает сразу две проблемы: обезвреживание части городских бытовых отходов и получение полноценного органического удобрения для использования его в зеленом хозяйстве города. Производство, организованное по данной технологии, позволит при сравнительно минимальных капитальных вложениях на его организацию снизить нагрузку на полигоны захоронения ТБО, а также улучшить состояние дворовых территорий и города в целом.

## **5.8. ОТРАБОТАННЫЕ МОТОРНЫЕ МАСЛА И ИХ РЕГЕНЕРАЦИЯ**

На предприятиях химической и нефтехимической промышленности России ежегодно образуются миллионы тонн технологических жидких, твердых и газообразных продуктов. Большую часть их не используют, так как часть их собирается в накопителях, часть выбрасывается в атмосферу и сливается в канализацию или в водоемы, засоряя и отравляя окружающую среду. Утилизацию и обезвреживание большей части отходов химической промышленности должны проводить предприятия, на которых они образуются, поскольку эти предприятия имеют необходимые производственные мощности, квалифицированную рабочую силу и развитую инфраструктуру.

Городские власти должны создать законодательную базу и систему контроля, которые исключали бы возможность выброса отходов химических и нефтехимических производств в окружающую среду.

Ряд химических и нефтехимических отходов образуются не в процессе деятельности химических производств, а в процессе жизнедеятельности населения в крупных городах. В первую очередь к таким отходам относятся отработанные нефтепродукты, образующиеся при замене масел в узлах трения различных двигателей, компрессоров, насосов, станков, турбин и механизмов, энергетических установок и т. д.

Простые расчеты для условий Москвы (число автомобилей, число замен масла в год, объем одной замены масла) для автомобильного транспорта показывают, что только от замены масел образуется около 25 000...27 000 т в год вторичных моторных масел. При этом основным источником отработанных моторных масел является частный сектор: кооперативные гаражи, предприятия автосервиса, платные стоянки, частные автофирмы, фирмы различных форм собственности, имеющие свой автотранспорт.

Следует особо отметить, что учесть отработанные моторные масла труднее всего в период промежуточного хранения (до вывоза их на переработку), когда они представляют наибольшую опасность

для окружающей среды. В связи с увеличением объема производства в нефтехимическом комплексе и числа автотранспорта, особенно за счет старых автомобилей, следует ожидать увеличения образования отработанных моторных масел на 5...7 % ежегодно.

После сбора отработанные масла утилизируют, не перерабатывая или перерабатывая на специальных маслорегенерационных установках.

Отработанные индустриальные, компрессорные, трансформаторные и турбинные масла можно использовать как компоненты топлива для котельных в любых соотношениях после отстоя воды и механических примесей.

Отработанные моторные масла имеют повышенную зольность, поэтому использование их как топливо для котельных не должно быть более 10...25 % общей массы сжигаемого топлива.

Основными направлениями переработки вторичных нефтепродуктов и, в частности, вторичных масел являются следующие: совместная переработка в смеси с нефтью на нефтеперерабатывающих заводах и целевая переработка вторичных масел с получением компонентов масел (регенерация).

*Совместную переработку отработанных масел* в смесях с нефтью можно проводить на любых нефтеперерабатывающих заводах по полной технологической схеме. Однако наличие загрязнений и присадок в отработанных маслах отрицательно влияет на работу электрообессоливающих установок, ухудшает процесс разделения нефти, повышает содержание нефтепродуктов в сточных водах.

Разработаны и внедрены новые технологические процессы *регенерации отработанных масел*.

Во Франции разработан технологический процесс переработки отработанных масел, основанный на чистке их пропаном, который пригоден для переработки и регенерации всесезонных моторных масел с высоким содержанием присадок, лаков, смол и асфальтовых соединений. По этой технологии работает несколько установок в Италии, Югославии, Франции.

Разработан процесс регенерации масел (до 90 %) методом ультрафильтрации, которую проводят с помощью растворителей (ацетон, спирт).

В США разработан процесс переработки, который полностью исключает применение серной кислоты.

В Голландии разработан новый способ регенерации отработанных масел без применения кислот, глины и других реагентов, обычно используемых для регенерации.

Фирмой «Скампроджетти» (Италия) разработан многостадийный процесс переработки отработанных масел, который включает: отгонку воды и топливных фракций, экстракционную очистку пропаном, вакуумную перегонку и гидроочистку полученных дистилляционных фракций, деасфальтизацию остатков.

Фирма «Интер Индреба» (Швеция) разработала технологию регенерации отработанных масел, в которой после предварительной отгонки воды и топливных фракций отработанное масло обрабатывают дисперсией металлического натрия.

Фирма «Филлипс Петролиум» (США) разработала технологию регенерации отработанных моторных масел, в которой на стадии предварительной очистки используют сульфаты и фосфаты аммония, что при последующей доочистке позволяет практически полностью удалить из масла металлы, присадки и снизить зольность до содержания их в базовых маслах.

## 5.9. УТИЛИЗАЦИЯ АМОРТИЗИРОВАННЫХ И БРОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

По данным оперативного учета в Москве эксплуатируется более 1,7 млн единиц автомобильной техники, из которых 1,3 млн — легкой транспорт и около 0,7 млн — грузовой, включая автобусы и троллейбусы.

Ежегодное увеличение парка автотранспортных средств, в том числе и за счет ввоза из-за рубежа бывших в употреблении автомобилей, характерно не только для Москвы, но и для большинства крупных городов России. В результате увеличивается общее количество изношенной и брошенной автотехники.

Вышедшая из употребления техника, с одной стороны, захламляет улицы, пустыри и жилые районы городов, а с другой — является ценным сырьем для вторичного использования материалов, получаемых после ее глубокой переработки, и служит реальным источником прибыли от реализации продуктов утилизации и восстановления запасных частей и агрегатов.

В условиях отсутствия централизованной системы сбора, хранения и утилизации устаревшей автотехники последнюю подвергают стихийному разукомплектованию и демонтажу запасных частей и деталей, имеющих определенную потребительскую стоимость. Кроме того, находящийся без присмотра неэксплуатируемый и изношенный автотранспорт негативно влияет на жизнедеятельность города, захламляет городскую территорию и образует несанкционированные свалки, создавая серьезные трудности для коммунальных служб, и ухудшает экологическую обстановку города. Объемы изношенной автотехники, направляемой на утилизацию и восстановление, при определенных экономических условиях могут быть на порядок выше, если учесть нормативные сроки использования автомобиля и реальное техническое состояние автопарка. Эта техника заполняет как внутренние производственные территории хозяйств государственных и негосударственных структур, так и гаражи частных автовладельцев.

Отечественных комплексных технологий и комплектного оборудования для переработки брошенных и амортизированных автомобилей пока не существует. За рубежом технология переработки амортизированных автомобилей состоит из следующих технологических стадий:

1 — слив топливно-смазочных материалов, освобождая двигатель, тормозную, отопительную и охлаждающую системы, а также трансмиссии и бензобаки от взрывоопасных и токсичных жидких материалов;

2 — комплексная разборка автомобилей с выделением цветных металлов, пластмасс, стекла и т. д.;

3 — измельчение непригодных для использования деталей автомобилей на измельчителях типа шредерных установок или измельчителей роторного типа;

4 — упаковка переработанных материалов из амортизированных автомобилей (черные и цветные металлы, резина, пластмассы, стекло).

Например, для комплексной переработки старых автомобилей можно использовать комплект оборудования, включающий:

мобильные прессы для прессования автокузовов на площадках их временного хранения в целях достижения более эффективной загрузки автолома при транспортировке его на перерабатывающие предприятия;

мобильные установки для слива ТСМ и спецжидкостей, сливая их из двигателей, тормозной, отопительной и охлаждающей систем, а также трансмиссии и бензобаков;

шредерная установка для разделки на мелкие части металлолома, очистки от пыли и грязи, сортировки и отделения неметаллических частей с утилизацией 10 видов материалов;

пресс для прессования переработанного и отсортированного металлолома в пакеты, удобные для транспортировки и использования на предприятиях металлургической промышленности.

Действующим положением о порядке принудительной эвакуации, учета и хранения брошенных и разукomплектованных транспортных средств в Москве определено, что:

транспортные средства, находящиеся на территории Москвы, в отношении которых установлено или имеются достаточные основания полагать, что они брошены владельцами и не имеют собственников, подлежат эвакуации для хранения на специальных охраняемых стоянках;

префектуры административных округов с участием органов ГИБДД (ГАИ) и внутренних дел, а также административно-технической инспекции выявляют вышеуказанные транспортные средства и извещают об этом территориальную государственную налоговую инспекцию в целях постановки имущества на госучет;

органы ГИБДД по запросам префектур, органов внутренних дел, налоговых, административно-технических инспекций предоставляют сведения о владельцах (собственниках) брошенных и разукomплектованных транспортных средств;

по истечении 5 сут после извещения налоговых инспекций и получения от ГИБДД данных и неустановлении владельцев (собственников), т. е. при отсутствии в ГИБДД идентификационных данных транспортного средства: номеров кузова, двигателя и др., префектуры организуют эвакуацию транспортных средств с составлением соответствующего акта, предусматривающего осмотр транспортных средств и включающего реквизиты, необходимые для учета и контроля состояния имущества;

территориальная государственная налоговая инспекция после вступления в законную силу решения суда о признании транспортного средства бесхозным принимает решение о его реализации или утилизации согласно инструкции Минфина РСФСР и инструкции Минфина б. СССР «О порядке учета оценки и реализации конфискованного бесхозного имущества, имущества, перешедшего по праву наследования государству, и кладов», а также с учетом последующих изменений и дополнений;

об обращении транспортных средств в собственность государства и принятию решения (реализации или утилизации) территориальная государственная налоговая инспекция информирует:

префектуры административных округов и предприятия, хранящие транспортные средства, с указанием организаций, которым их передают для реализации или утилизации;

органы ГИБДД для снятия транспортных средств с учета;

расходы предприятиям, выполняющим работы по эвакуации, утилизации и содержанию стоянок, возмещают за счет доходов от реализации брошенных транспортных средств и бюджетных ассигнований, направляемых на благоустройство города;

расходы территориальных налоговых инспекций возмещают за счет доходов от реализации (утилизации) транспортных средств и бюджетных (или собственных специальных) средств, выделяемых на эти цели;

в случае обнаружения владельца (собственника) транспортное средство выдают после оплаты стоимости проведенных работ и хранения в соответствии с тарифами.

Однако следует отметить, что действующий порядок в обращении с отходами автотранспортных средств, так же как брошенной и разукomплектованной автотехники, в силу отсутствия достаточной правовой базы в рамках взаимоотношений государство — собственник далеко не полностью отвечает современным требованиям. Необходимость совершенствования действующей организационной структуры по сбору, хранению и переработке отходов потребления автотранспортных средств и переводу ее на самоокупаемость обуславливается ограниченностью бюджетных ассигнований, направляемых на эти нужды. Действующий порядок удаления с территории города брошенных, разукomплектованных и аварийных транспортных средств (в том числе кузовов), владельцы которых длительное время не освобождают дороги, проезды, придомовые территории, не ремонтируют и не утилизируют это имущество, определен распоряжением от 28.12.94 г. № 645-РМ. В указанном распоряжении утверждены тарифы на выполнение работ по выявлению, эвакуации, учету, выдаче (передаче) и хранению брошенных, бесхозных и разукomплектованных транспортных средств, которые приведены в таблице 5.9. В Москве имеются 22 площадки для размещения брошенных и амортизированных автомобилей на период проведения дознания на принадлежность и предварительной подготовки их к транспортировке на перерабатывающие предприятия.

**5.9. Тарифы (коэффициенты) на выполнение работ по выявлению, эвакуации, учету, выдаче (передаче) и хранению брошенных, бесхозных и разукомплектованных транспортных средств**

Выполняемая работа	Единица расчета	Автотранспорт	
		легковой	грузовой
Выявление — предварительный осмотр места эвакуации, размещение, уведомление и определение метода эвакуации	Один адрес	1,4	1,4
Оформление документов на проведение эвакуации	Одно оформление	0,5	0,5
Эвакуация:			
перестановка (подъем и перемещение на длину стрелы крана)	Одна перестановка	4,9	—
буксировка (жесткая сцепка)	—	8,8	11,1
автокран и тягач с платформой	—	12,8	16,7
автоподъемник (эвакуатор)	Одна эвакуация	9,8	—
Прием на хранение и уведомление владельца (налоговой инспекции)	Один автомобиль	0,9	0,9
Хранение	Одни сутки	0,3	0,3
Выдача или передача транспортного средства	Один автомобиль	0,9	0,9

**П р и м е ч а н и е.** Тарифы являются коэффициентами к размеру минимальной заработной платы, действующей на момент выполнения работ, и применяют их префектуры административных округов для расчетов с собственником транспортного средства при его возврате владельцу.

Основную работу по переработке изношенного автотранспорта в Москве осуществляют силами Мосвтормета, который ежегодно перерабатывает 220...240 тыс. т черного металлолома, в том числе до 90 тыс. т тонколистовой стали, что соответствует 2300 единиц автомобилей в год.

Отпускная цена 1 т пакетированного металлолома составляет 265 руб. вместе с НДС; для сравнения цена 1 т продуктов переработки металла на шредерной установке (более качественного и удобного для металлургии) составляет 468 руб.

При существующей системе заниматься удалением изношенных автомобилей невыгодно. Вывоз металла брошенных автомобилей стоит дороже, чем плата за металлолом. Эвакуируют изношенные автомобили за счет бюджета, т. е. владельцы автотранспортных средств и все другие налогоплательщики, не обладающие такой собственностью, одинаково платят за утилизацию отслужившего свой срок автомобиля. Пока не существует закона, обязывающего автовладельцев избавляться от своих автомобилей за свой счет. Законом должны быть предусмотрены и штрафные санкции за парковку машин на придомовых территориях вне специально выделенных для этих целей площадок и ограждений. Бесхозное стояние старых машин во дворах и на производственных территориях тоже должно быть наказуемо. Необходимо введение такого порядка, который

стимулировал бы владельцев автомобилей добровольно расставать-ся со своей изношенной техникой и побуждал бы их к проявлению инициативы в ее утилизации.

## 5.10. УТИЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАНОК ИЗ-ПОД НАПИТКОВ

В последнее время резко увеличился объем поставок импортных прохладительных напитков и пива в металлических банках вместимостью 0,33, 0,5 и 1,0 л. Отечественные предприятия — производители пива и прохладительных напитков также стали применять этот вид упаковки для своей продукции. Все это привело к тому, что в составе городского мусора резко возросла доля металла, сбор которого недостаточно организован.

Пустые банки разбросаны по всему городу, за счет этого количество мусора возрастает и все острее встает проблема утилизации банок, особенно в летние месяцы, что ухудшает не только внешний вид, но и экологическое состояние города.

По экспертным оценкам в Москве потребляется в среднем около 800 тыс. банок в сутки — около 300 млн банок в год. Из них примерно 210 млн алюминиевых банок и 90 млн банок из жести, которые вывозят на полигоны.

При вывозе банок на специализированной технике с предварительным уплотнением ( $K_{упл} = 1,8...2,2$ ) годовой объем вывозимых банок ориентировочно составляет 60...70 тыс. м<sup>3</sup> дополнительного мусора.

Учитывая, что половина техники не укомплектована устройствами для предварительного уплотнения мусора, действительный объем вывозимых банок составляет не менее 100 тыс. м<sup>3</sup>.

При средней вместимости одного мусороуборочного автомобиля 8 м<sup>3</sup> для вывоза указанного объема в течение года необходимо организовать не менее 12,5 тыс. рейсов мусороуборочной техники. Средняя стоимость одного рейса ориентировочно составляет не менее 500 руб., а годовые затраты на вывоз банок — не менее 6 млн руб. в год.

Металлические банки собирают во всех развитых странах, и обусловлено это дефицитом и большой стоимостью материалов, из которых их изготавливают. Примерно 70 % поставляемых банок изготавливают из пищевого алюминия, остальные — из жести, но они содержат до 20 % алюминия, который при переработке также можно извлекать.

Банки вместимостью 0,33 л составляют 70 % объема поставок, из них не менее 70 % изготовлено из алюминия, а остальные — из жести, где верхняя часть банки массой около 3 г — из алюминия.

Банки вместимостью 0,5 л составляют около 30 % объема поставок. Из них не менее 70 % изготавливают из алюминия, осталь-

ные — из жести. Банки вместимостью 1 л изготавливают из жести, объемы их поставок незначительны. Основные характеристики утилизируемых банок приведены в таблице 5.10.

### 5.10. Основные характеристики утилизируемых банок из-под напитков

Вместимость банки, л	Масса банки, г	Содержание Al после плавки, г	Число банок, требуемое для литья 1 т Al
0,33 (основа алюминий)	16	15,2	65789
0,33 (основа железо)	27	2,85	350877
0,5 (основа алюминий)	22	20,9	47847
0,5 (основа железо)	41	2,85	350877

Переплавляют алюминиевые банки по традиционной технологии в электропечах. Однако, если в переплавку запускать алюминий в виде банок, на выходе получается только около 20 % металла. При переплавке спрессованных брикетов из цельных банок выход алюминия составляет только 40 %, а остальная часть уходит в угар. Наилучшие технологические показатели получают при переплавке банок в виде брикетов, спрессованных из предварительно измельченного и отсортированного баночного материала. В этом случае выход алюминия достигает около 80 %.

Поэтому механизированные участки по переработке банок оснащают малогабаритными дробилками и прессами, вспомогательным и сортирующим оборудованием и организуют в местах массового скопления людей (аэропорты, вокзалы, стадионы, крупные гостиницы, рестораны, бизнес-центры, места массового отдыха).

Производительность одного такого участка составляет не менее 8 тыс. банок в сутки. Продукцией этих участков должны быть отсортированные по типу металла брикеты.

Утилизируют банки путем их измельчения, сепарирования и прессования в брикеты для последующего использования в качестве вторичного сырья для металлургических производств.

Химический анализ слитков, полученных после переделки банок, который приведен далее, подтверждает высокую чистоту алюминия.

Элемент	Fe	Mn	Mg	Pb	Si	Ni	Al	Sn
Содержание, %	0,42	0,47	0,8	0,005	0,53	0,014	97,58	0,002

### 5.11. ПЕРЕРАБОТКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Строительные отходы образуются при новом строительстве, сносе и реконструкции зданий и сооружений, при производстве строительных материалов, деталей и конструкций, ремонте и модернизации.

По временному классификатору отходов Минздрава б. СССР (1989 г.) при сносе, реконструкции и новом строительстве зданий и сооружений образуются следующие виды отходов: бетон и железобетон; сколы асфальта; керамзитобетон; древесина; лом черных металлов; рубероид; битум (мастика); линолеум (обрезь); использованная минеральная вата; асбошифер (бой); макулатура (в том числе оргалит); стеклобой; использованный санитарно-технический фаянс; кирпич (бой); отработанный раствор цементно-известковый; лакокрасочные (разные); отработанные шлак, зола, асбест; керамическая плитка (бой); использованная тара бумажная, загрязненная; тара металлическая.

Преобладающий вид строительных отходов в городах — замусоренный грунт, асфальт, каменные материалы, кирпич, бетон и железобетон, древесина, керамическая плитка, картон, бумага и т. д.

Схема очистки городов от строительных отходов предусматривает переработку части отходов во вторичное сырье и вывоз на полигоны ТБО для захоронения той части строительных отходов, которая не может быть использована как вторичный строительный материал. На полигоны принимают строительные отходы, относящиеся к IV классу опасности, которые согласно нормативным документам принимают на полигоны ТБО без ограничения и используют в качестве изолирующего материала. В основном это строительный мусор, за исключением крупногабаритных и крупнообломочных.

В качестве полигонов, на которых возможно захоронение неутрачиваемых строительных отходов, в том числе крупногабаритных, могут служить закрытые и в дальнейшем рекультивируемые карьеры. При разработке проектов рекультивации карьеров предусматривают комплекс мероприятий по приемке крупногабаритных строительных отходов. Основное условие возможности приема строительных отходов на полигоны ТБО — соблюдение санитарно-гигиенических требований по охране окружающей среды (атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод).

Строительные отходы включают 20 % отходов пиломатериалов, 1 — стеклобоя, 10,3 — металлического скрапа, 40 — полимерного материала, 8 — песка, 8 — камней, щебня, гравия и др. Малая насыпная масса и обусловленные этим большие объемы, занимаемые строительными отходами при их захоронении, приводят к перегруженности свалок, привлечению большого числа транспортных средств, значительному расходу топлива.

Определенный интерес представляет переработка строительных отходов во вторичное сырье.

Первые сведения по использованию строительных отходов в качестве вторичного сырья для приготовления бетона были опубликованы в 1946 г. Установлено, что при одинаковых значениях прочности на сжатие прочность на изгиб бетона, приготовленного на дробленом наполнителе из строительных отходов, несколько боль-

ше, чем у бетона, приготовленного с использованием естественных наполнителей. При этом отмечается, что дробленый наполнитель из отходов бетона имеет более низкую плотность по сравнению с плотностью природных заполнителей, а бетоны, приготовляемые на его основе, имеют более низкую по сравнению с бетонами, приготовляемыми на основе природных наполнителей, прочность на сжатие.

В это же время в Англии и Германии при приготовлении бетонной смеси в качестве крупного заполнителя начали применять бетонный лом, образовавшийся после разрушения зданий и сооружений во время второй мировой войны.

Внимание к повторному использованию бетона в строительном производстве усилилось в 70-е годы ввиду дефицита природных заполнителей, возросших требований к охране окружающей среды и увеличения количества старых, морально и физически устаревших зданий, подлежащих сносу.

В странах ЕС ежегодно образуется около 50 млн т строительных отходов в основном от разрушения бетонных и железобетонных зданий и сооружений, в США — 60, в Японии — 12 млн т. По прогнозам, после 2000 г. они увеличатся более чем в 3 раза.

В отдельных странах (Японии, Германии, Дании, Нидерландах, Люксембурге и др.) практически нет свободных территорий для организации свалок для захоронения бетонного лома. Поэтому в этих странах остра проблема переработки строительных отходов.

В США более 10 лет ежегодно перерабатывают свыше 20 млн т бетонных отходов. По данным ряда американских фирм, при получении щебня из бетона по сравнению с его добычей в природных условиях расход топлива уменьшается почти в 8 раз, а себестоимость бетона, приготовляемого на вторичном щебне, снижается на 25 %.

Вторичное использование бетона в строительстве показывает, что переработка отходов бетона и железобетона на современном оборудовании по рациональным технологическим схемам повышает качество получаемого вторичного щебня и делает его конкурентоспособным с природным.

Технологическая схема переработки железобетонных изделий состоит из двух этапов: предварительного разрушения изделий с отделением арматуры и окончательного вторичного дробления отделенной массы бетона. Предварительное разрушение производят любым рекомендуемым в строительной практике методом — механическим, гидродинамическим, взрывным, электроимпульсным и другими способами, обеспечивающими извлечение и отделение арматурного каркаса от бетона. Механические дробильно-сортировочные комплексы обеспечивают предварительное разрушение железобетонных изделий с извлечением арматуры с последующей ее утилизацией. Повторное дробление, измельчение и фракционирование заполнителей производят по технологии, аналогичной получению заполнителей из природных каменных материалов.

При производстве работ по разрушению железобетонных изделий рекомендуют предварительно сортировать и перерабатывать раздельно изделия из тяжелых бетонов до марки В-20 и выше.

Американские ученые, имеющие многолетний опыт переработки бетона, подчеркивают его высокую экономичность (стоимость 1 т природного заполнителя составляет 3,3 долл. США за 1 т, вторичного заполнителя — 1,67 долл. США за 1 т). Вторичный щебень производят пять фракций с максимальной крупностью зерен до 75 мм. Основной объем выпускаемого вторичного щебня используют для устройства оснований административных зданий. В этом случае себестоимость бетона на основе крупного вторичного заполнителя на 25 % меньше, чем бетона на щебне.

Фирма «Таффи Крашд Конкрит» (США) — одна из специализирующихся на дроблении бетона, который в основном применяют при прокладке дорог и сооружений стоек для автомобилей.

Фирма «Шамрок Бигтеб Компани» (США) организовала в г. Лос-Анжелесе предприятия по переработке обломков бетона и асфальтобетона, получаемых при разработке дорожных покрытий. Ежегодно завод перерабатывает 1560 т обломков, доставляемых различными подрядчиками на заводской отвал площадью 2 га. Обломки дробят, после чего используют для приготовления асфальтобетонной смеси.

Фирма «Санд Крашинг» (США, штат Калифорния) разработала передвижную дробильно-сортировочную установку, которая перерабатывает во вторичный заполнитель обломки строительных конструкций и дорожных покрытий, разбираемых при сломе или ремонте.

Более широко в США используют отходы, образующиеся при реконструкции и ремонте автомобильных дорог. При повторном использовании старого асфальтобетона существуют методы холодной и горячей регенерации. При холодной регенерации асфальтобетонную смесь готовят на месте с добавлением битума или пластификатора, а при горячей регенерации из новых и повторно используемых материалов — горячим способом на асфальтобетонном заводе. При этом количество повторно используемых материалов достигает 50...60 %. Поэтому на новых асфальтобетонных заводах обязательно предусматривают повторное применение асфальтобетона. При восстановлении покрытий методом горячей регенерации затраты на реконструкцию дорог уменьшились примерно в 2 раза.

В Нидерландах выполнены успешные исследования, позволившие освоить массовое производство стеновых панелей для жилых зданий с использованием вторичного бетона. Расход цемента в бетоне на вторичных заполнителях не превышает расхода цемента в бетоне, приготавливаемом на природных заполнителях, и обеспечивает требуемую прочность. В Амерсфурте (Нидерланды) смонтировано несколько домов с использованием внутренних стеновых панелей, изготовленных на основе вторичных бетонов. При обследовании эксплуатируемых зданий трещин на стеновых панелях не обнаружено.

При реконструкции шоссе в штате Айова (США) было принято решение о снятии старого железобетонного покрытия, переработке его и повторном использовании дробленого бетона в качестве нового подстилающего слоя и заполнителя при приготовлении асфальтобетона.

Опыт переработки бетонных отходов показал целесообразность использования вторичного щебня при строительстве дорог, фундаментов зданий и небольших сооружений, устройстве оснований или покрытий пешеходных дорожек, автостоянок, прогулочных аллей, для крепления откосов вдоль рек и каналов, а также приготовления бетона, используемого для устройства покрытий пешеходных дорожек, внутренних площадок гаражей и сельских дорог, и в заводском производстве бетонных и железобетонных изделий прочностью до 30 МПа.

Использование в качестве сырья промышленных отходов возможно только после специальных исследований и разработки нормативных документов по их применению.

Повышенные требования к технической и экологической надежности строительных материалов, изделий и конструкций, полученных с применением вторичного сырья как минерального, так и содержащего вещества органического происхождения, тесно связаны с безопасностью для здоровья человека и максимальной комфортностью. Повышенные экологические требования к строительным материалам должны быть обеспечены шкалой безопасности (кондиционности технологического сырья) и его промышленной пригодности.

Шкала пригодности содержит и специфические условия экономической надежности вторичных сырьевых ресурсов, для которых должны быть соблюдены следующие условия: полное отсутствие радиоактивного излучения и органических канцерогенных веществ, в также невозможность их образования в процессе переработки и изготовления изделий. Обеспечение предельно допустимой концентрации (ПДК) канцерогенных элементов, установление вида вторичного сырья, его классификация по результатам анализа с оценкой перспективы широкого использования. Все это возможно только при тщательном изучении промышленных отходов с применением современных методик.

Строительные отходы, полученные в результате сноса крупноблочных и панельных домов, промышленных сооружений, перерабатывают на стационарных, сборно-разборных и мобильных (передвижных или самоходных) дробильно-сортировочных установках.

К стационарным дробильно-сортировочным машинам относят установки, состоящие из двух или трех секций или линий. Первая секция установки — приемка и первичная переработка поступающих отходов. Стационарные установки имеют приемный бункер, пластинчатый транспортер, пост предварительной сортировки, где вручную отделяют древесные материалы, пластмассу и прочие включения. Затем отходы поступают в дробилку и далее по виброжелобу — к магнитному сепаратору, где извлекаются все металлические включения. Затем раздробленная масса посредством ленточного питателя подается в сепаратор для разделения на фракции размером 0...5 мм, 5...40 мм и т. д. Крупные обломки, не прошедшие сепаратор, возвращаются обратно в дробилку или же подаются транспортером во вторую секцию установки, которая по составу оборудования аналогична первой.

Возможно также и наличие третьей секции установки, в которой из переработанных строительных отходов (щебня и песка) с добавлением природного песка, цемента и золы приготавливают товарный бетон, используемый для подстилающего слоя дорожных покрытий или стеновых конструкций малоэтажных зданий. Эта часть установки состоит из следующих основных узлов: приемного бун-

кера, дозаторов, ленточного питателя, силосов для цемента и золы, системы подачи воды, бетоносмесительной установки и расходного бункера. На стационарных установках работают три колесных погрузчика, два гидравлических экскаватора, один из которых оборудован гидромолотом, а другой — гидравлическими клещами. Установку обслуживают 12 человек, из них: пять — машинисты погрузчиков и экскаваторов, два — операторы на управлении пультом, два — рабочие на ручной сортировке, подсобный рабочий, экспедитор и управляющий. Стационарные установки по переработке строительных отходов обычно размещают на пересечении крупных транспортных коммуникаций (автомобильных, водных, железнодорожных) вблизи крупных городов. К размещению таких установок предъявляют такие же требования, как и к предприятиям стройиндустрии. Мощность стационарных установок достигает 400 тыс. т перерабатываемых отходов в год. На такие установки поступают предварительно отсортированные по видам строительные отходы: кирпич, бетон, железобетон, камень, асфальт и пр.

Другой тип перерабатывающего оборудования — сборно-разборные дробильно-сортировочные установки, которые, как правило, состоят из компактных блоков, устанавливаемых на заранее подготовленные фундаменты. Размер площадки, на которой размещают указанные блоки, составляет 200 м<sup>2</sup>, потребляемая мощность установки — до 100 кВт. Монтаж и демонтаж блоков занимает не более 2...3 сут. Поступающие строительные отходы сначала, как и на стационарных установках, сортируют гидравлическим экскаватором. Крупные громоздкие отходы, такие, как ригели, плиты, панели, откладывают для дальнейшего дробления гидромолотами, остальной материал подают в загрузочный бункер вместимостью 5 м<sup>3</sup>, а оттуда скребковым транспортером в сортировочный барабан, где его разделяют по фракциям. В процессе разделения системой воздухозабора отсасываются легкие фракции: дерево, бумага, пластмасса и др. При подаче материала к следующему посту магнитным сепаратором отделяют металлические включения, а также проводят ручную сортировку, извлекая деревянные элементы, картон и другие неминеральные отходы. Затем материал поступает в дробилку, где из крупных отходов получают щебень. Размещают сборно-разборные дробильно-сортировочные установки преимущественно в местах сосредоточенной массовой переработки строительных отходов, как правило, в промышленных зонах городских территорий, предъявляя к ним повышенные (по сравнению со стационарными установками) экологические требования: минимальный шум, замкнутый цикл отсоса воздуха с его очисткой от мусора и пыли, обратное водоснабжение. Сборно-разборную установку обслуживают 2...3 чел., из которых один оператор, а другой — машинист экскаватора или погрузчика.

Третий тип установок, перерабатывающих строительные отходы, — мобильные (передвижные, самоходные) дробильно-сорти-

рочные установки, смонтированные на шасси с гусеничными или колесным ходом. Они состоят из силового агрегата (обычно дизель-электрического), смонтированного на шасси, приемного бункера, дробилки, магнитного сепаратора, поста ручной сортировки, системы транспортеров, сортировочного барабана, раздаточного транспортера. Установку из транспортного положения в рабочее состояние переводят за 2...3 ч. Мобильные установки отличаются пониженной мощностью и шумом (не более чем от грузового автомобиля). Поэтому мобильные установки при сносе рассредоточенных объектов можно применять в условиях жилых кварталов, а также при реконструкции ветхого жилого фонда, объектов соцкультбыта и других зданий и сооружений.

Полученный после переработки мобильными установками вторичный материал используют в основном в качестве обратной засыпки пазух котлованов, строительстве дорог и проездов. Обслуживают мобильную установку 2 чел.

В большинстве индустриально развитых стран (США, Англии, Франции, Германии и др.) имеются экономические, рыночные и административные рычаги для расширения сферы потребления строительных отходов в качестве сырья для строительной индустрии, что позволило значительно увеличить объемы переработки отходов в полезные продукты и одновременно улучшить экологическую обстановку в этих странах.

---

## **6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛИГОНОВ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**



### **6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Как показывает практика санитарной очистки городов, наиболее распространенными в мировой и отечественной практике сооружениями по обезвреживанию ТБО являются полигоны.

Современные полигоны — это комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов.

Поэтому полигоны строят по проекту, выполняемому проектными организациями, в соответствии с требованиями, предъявляемыми строительными нормами и правилами.

Все работы по складированию, уплотнению и изоляции ТБО на полигонах выполняют механизированным способом.

В состав проекта полигона входят: общая пояснительная записка; гидрогеологическая записка с обоснованием выбора площадки под строительство; технологический раздел, включающий расчет вместимости, технологическую схему с учетом очередности строительства, продольный и поперечный геологические разрезы, режим эксплуатации, расчеты потребности в рабочих кадрах, машинах и механизмах, рекомендации по рекультивации участка после закрытия полигона для приема отходов; строительный генеральный план участка с нанесением отметок вертикальной планировки, результатов планируемых работ по благоустройству территории, а также специальных природоохранных сооружений; раздел по оценке воздействия полигона на окружающую среду.

Кроме того, проект должен включать разделы по организации санитарно-защитной зоны и системы мониторинга, архитектурно-строительную часть. В проекте разрабатывают санитарно-эпидемиологические мероприятия и приводят бизнес-план и основные технико-экономические показатели.

Таким образом, проект полигона захоронения отходов должен предусматривать защиту окружающей среды при размещении отходов, которые нельзя уменьшить, переработать, превратить в компост, сжечь или утилизировать каким-либо другим методом.

Принципиальная схема конструктивных элементов полигона, обеспечивающих надежную защиту окружающей среды при размещении отходов, показана на рисунке 6.1.

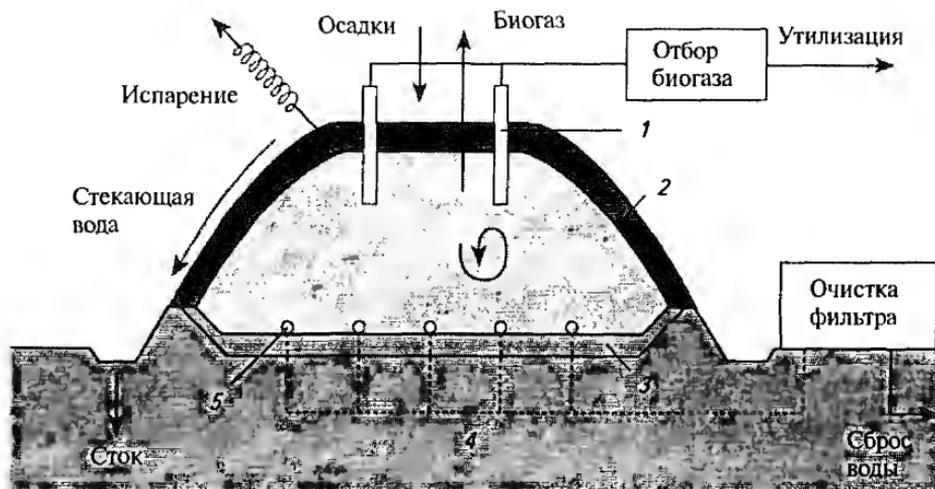
Полигон захоронения ТБО необходим также для размещения отходов, оставшихся от рециркуляции, компостирования, сжигания или других способов переработки, и может быть использован, если альтернативные способы переработки отходов осуществить невозможно.

Полигон захоронения ТБО, запроектированный в соответствии с экологическими требованиями, включает сооружения для отвода и сбора фильтрата и биогаза с учетом потенциальной возможности использования его как источника получения энергии.

Правильная разработка проектной документации позволяет адекватно использовать территорию рекультивируемого полигона захоронения ТБО после того, как он будет закрыт.

В заполненном полигоне захоронения ТБО отходы должны быть закрыты перекрывающим материалом и слоями грунта, укладываемыми по верху, и изолированы в основании.

Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду при захоронении отходов в мировой практике приняты следующие природоохранные мероприятия и инженерные решения, которые обязательно разрабатывают в проектах.



**Рис. 6.1.** Схема разреза полигона с набором конструктивных элементов, обеспечивающих надежную защиту окружающей среды при размещении отходов:

1 — скважина для отбора биогаза; 2 — верхнее перекрытие; 3 — противофильтрационный экран; 4 — сбор фильтрата; 5 — дренаж

*Санитарно-защитная зона* — территория, отделяющая жилую застройку от территории, занятой отходами.

*Нижний противофильтрационный экран* — слой глины или геосинтетические мембраны, предназначенные для сбора фильтрата, его откачки и предотвращения попадания в грунтовые воды.

*Покрытие* — ежедневное покрытие размещаемых отходов при завершении работ в конце каждого рабочего дня и заключительное, покрывающее заполненный полигон, для управления фильтрацией воды, газовой эмиссией и эрозией почвенного слоя. Покрытие также предотвращает непосредственный контакт отходов с окружающей средой.

*Фильтрат* — жидкость, которая прошла через твердые отходы или появилась из них и содержит растворимые, взвешенные или осажденные материалы, выделенные из захороненных отходов. Фильтрат течет вниз, достигая дна полигона, но может также фильтровать и через борта полигона.

*Система сбора фильтрата* — дренажные трубы, размещенные в нижнем противофильтрационном экране или над ним, для сбора, отвода, хранения и возможной обработки фильтрата. Поток фильтрата, проходя через обратный фильтр, попадает в дренаж, выполненный из пластиковых перфорированных труб. Альтернативой этим трубам может служить специальная система, вы-

полненная из геосинтетических материалов, которая будет собирать фильтрат и отводить его в специальную емкость для последующего удаления.

*Биогаз* — продукт анаэробного разложения органических отходов, представляющий смесь метана, диоксида углерода и небольших частей различных газов.

*Система сбора биогаза* — это система нескольких рядов вертикальных колодцев или горизонтальных траншей, содержащих проводящий материал и перфорированные трубы, помещенные в тело полигона, для сбора газа и его дальнейшей очистки в целях производственного использования как источника энергии.

Основная задача проектирования полигонов состоит в том, чтобы разместить отходы в земле согласно определенному графику с минимальным влиянием захороненных отходов на окружающую среду при наименьших затратах.

В мировой практике известны следующие временные показатели выполнения отдельных работ и функционирования полигонов: выбор участка, проектирование и строительство полигона — 3 года и более; эксплуатация (заполнение, мониторинг и административное управление) — 15...30 лет; закрытие полигона — 1...2 года; мониторинг и обслуживание после закрытия полигона — 30 лет и более; корректировка непредвиденных обстоятельств.

Многочисленные технические инструкции, общественные пожелания и предписания, существующие технические и природные условия необходимо учитывать при проектировании полигонов.

Этапы проектирования, которые рассматривают в обязательном порядке: установление необходимой вместимости полигона захоронения ТБО; исследование и выбор потенциальных участков; определение применимости федеральных, республиканских (областных) и местных требований; определение местных технических возможностей в обеспечении потребности полигона в энергии и материалах покрытия; рассмотрение возможных направлений последующего использования участка после рекультивации; определение пригодности выбранных участков для строительства полигона; проектирование заполняющейся части полигона с учетом требуемого объема отходов и всех вышеперечисленных требований; проектирование системы отвода и сбора фильтрата, мониторинга грунтовых вод, системы мониторинга биогаза; разработка системы перекрытия полигона после его закрытия; согласование проектной документации и получение разрешений на строительство; получение финансовых гарантий для организации мониторинга за состоянием полигона и окружающей территории после закрытия полигона; эксплуатация полигона; закрытие полигона; обеспечение мониторинга за окружающей средой после закрытия полигона.

## 6.2. ВЫБОР УЧАСТКА ПОД ПОЛИГОН И ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Размещают полигоны за пределами городов и населенных пунктов. Перед проектированием заказчик с заинтересованными организациями (архитектурно-планировочным управлением, отделом по делам строительства и архитектуры, органами экологии и санитарнадзора и гидрологической службой) определяют район, в котором подбирают участок для размещения полигона. При этом руководствуются размером санитарно-защитной зоны, которая должна быть не менее чем 500 м от жилой застройки до границ полигона (СНиП 2.07.01—89, табл. 12), и гидрологическими условиями. По гидрологическим условиям благоприятными считают участки с отложениями глины и суглинков и залеганием уровня грунтовых вод на глубине более 2 м.

Нельзя использовать под полигоны болота глубиной более 1 м и участки с выходом грунтовых вод на поверхность в виде ключей, территории, затопляемые водами, районы геологических разломов, а также участки, расположенные ближе 15 км от аэропортов. Под полигоны отводят отработанные карьеры глин, участки в лесных массивах, овраги, свободные от ценных пород деревьев.

При отводе участка выдают рекомендации по использованию нарушенной территории после закрытия полигона с учетом дальнейшего ее использования: создания лесопаркового комплекса, устройства открытых складов строительных материалов и тары непищевого назначения и другого подобного использования. Капитальное строительство на участках складирования ТБО запрещено из-за выделения ядовитых и взрывоопасных газов в течение длительного времени (свыше 40 лет после закрытия полигона).

Размер участка, отводимого под полигон, зависит, как правило, от продолжительности (15...30 лет) его эксплуатации.

Наиболее экономичны земельные участки, в плане по форме близкие к квадрату и допускающие максимальную высоту складирования ТБО 12...60 м в зависимости от численности обслуживаемого населения.

На выбранном под полигон участке выполняют топографическую съемку, геологические, гидрогеологические изыскания и санитарные исследования. Для проектирования полигона необходимо иметь план всего участка, выполненный в масштабе 1 : 1000 с горизонталями через 1 м. План хозяйственной зоны с размещением инженерных сооружений и внешних коммуникаций составляют в масштабе 1 : 500 с горизонталями через 0,5 м.

В процессе геологических исследований определяют порядок напластования, мощность и состав пород, слагающих основание полигона, коэффициенты фильтрации грунтов всех разностей. Минимальная глубина разведки 10 м. При разнородных грунтах необ-

ходимо проводить исследования до водоупорного слоя с углублением в него на 1...1,5 м.

Гидрогеологическими исследованиями устанавливают уровень грунтовых вод (УГВ) и направление их потока. Для расчета водоотводных канав, защищающих полигон от потока поверхностных вод (дождевых и талых), собирают сведения об интенсивности и испаряемости атмосферных осадков и площади их водосбора.

В результате геологических и гидрогеологических изысканий составляют план расположения шурфов и скважин, геологические (литологические) профили, заключение гидрогеолога о пригодности намечаемого участка под полигон ТБО и рекомендации по инженерной защите окружающей природной среды.

Для полигонов с нагрузкой на основание более 10 т/м<sup>2</sup> (100 тыс. т/га) проводят комплексные геологические исследования, включающие более полное изучение гидрогеологических, геофизических, ландшафтно-геохимических и других условий отведенного земельного участка, с составлением прогноза возможного отрицательного воздействия объекта на природные экосистемы в перспективе (через 30...50 лет).

Заключение о пригодности выбранного участка под устройство полигона обезвреживания ТБО выдают органы охраны природы и санитарно-эпидемиологического надзора по результатам проведенных изысканий.

### 6.3. РАСЧЕТ ВМЕСТИМОСТИ ПОЛИГОНА

Проектируемую вместимость полигона рассчитывают с учетом удельной обобщенной годовой нормы накопления ТБО на одного жителя, которая включает накопление ТБО в учреждениях и организациях, число обслуживаемого полигоном населения, расчетный срок эксплуатации, степень уплотнения ТБО в процессе их укладки в тело полигона и после его закрытия.

Вместимость полигона на расчетный срок его эксплуатации

$$V_{\text{п}} = (Y_1 + Y_2)/2\rho_{\text{тбо}}(H_1 + H_2)T/2K_1K_2, \quad (6.1)$$

где  $Y_1, Y_2$  — удельные годовые нормы накопления отходов в первый и последний годы эксплуатации полигона, т/чел.;  $H_1, H_2$  — численность населения, обслуживаемого полигоном, на первый и последний годы эксплуатации, чел.;  $T$  — расчетный срок эксплуатации полигона, годы;  $K_1$  — коэффициент уплотнения ТБО, равный отношению плотности ТБО после уплотнения ( $\rho_{\text{тбо}} = 0,6...0,8 \text{ т/м}^3$ ) к плотности ТБО, доставляемого мусоровозами на полигон ( $\rho_{\text{тбо}} = 0,2...0,3 \text{ т/м}^3$ ), зависит от массы грунтоуплотняющей машины и толщины изолирующего слоя ( $h_{\text{из}}$ ), выполняемого из минерального грунта (при  $h_{\text{из}} = 0,25$  м и менее,  $K_1 = 3...4,5$ );  $K_2$  — коэффициент, учитывающий увеличение объема полигона за счет устройства наружных и внутренних изолирующих слоев;  $K_2$  зависит от изолирующего материала, в качестве которого используют минеральный грунт, забираемый из основания полигона, либо привозной. Так, для выполнения изолирующих работ с помощью минерального грунта, разрабатываемого в основании возводимого полигона,  $K_2 = 1$ , а привозного грунта —  $K_2 = 1,16...1,37$  в зависимости от высоты или глубины полигона.

Как показывает практика обращения с отходами, нормы накопления ТБО изменяются во времени и составляют около 3 % в год. Тогда изменение годового объема накопления ТБО на  $T$ -й год составит:

$$Y_2 = Y_1(1,03)^T. \quad (6.2)$$

При расчете вместимости полигона необходимо учитывать демографические изменения численности населения в обслуживаемом районе за расчетный период:

$$H_2 = H_1 K_3, \quad (6.3)$$

где  $K_3$  — коэффициент, учитывающий демографические изменения в обслуживаемом районе за счет рождаемости и миграции населения,  $K_3 = 1 \dots 1,4$ .

## **6.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛИГОНА И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА УМЕНЬШЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

### **6.4.1. КОМПОНОВКА ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОЛИГОНА**

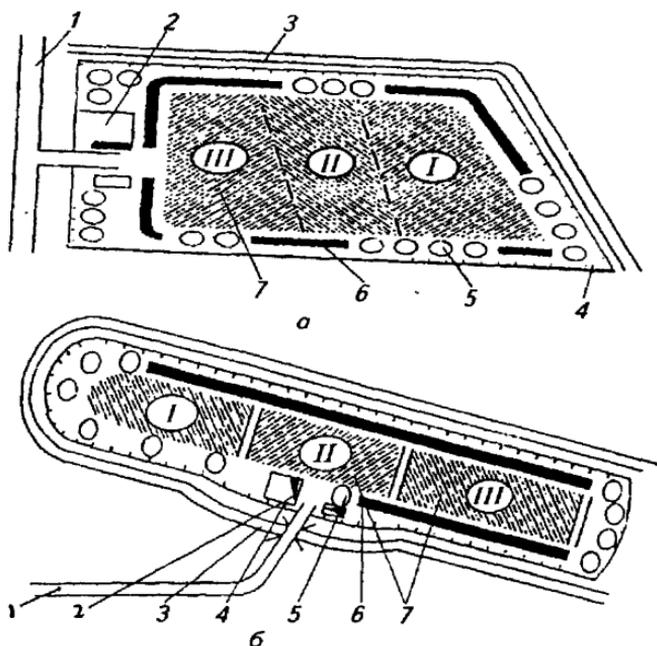
Основные элементы полигона — это подъездная дорога, участок складирования ТБО, хозяйственная зона, инженерные сооружения и коммуникации.

*Подъездная дорога* соединяет существующую транспортную магистраль с участком складирования ТБО. Параметры подъездной дороги рассчитывают на двустороннее движение. Категория и основные параметры подъездной автодороги устанавливают в соответствии с расчетной интенсивностью движения.

Основное сооружение полигона — *участок складирования отходов*, который обычно занимает до 95 % площади полигона. Его разбивают на очереди эксплуатации с учетом приема отходов в течение 3...5 лет. Заполняют каждую очередь по высоте ярусно. Высоту каждого яруса принимают 2...2,5 м, включая толщину слоя изоляции отходов минеральным грунтом.

Участки складирования должны быть защищены от стока поверхностных вод, поступающих с вышерасположенных земельных массивов. Для перехвата дождевых и паводковых вод вокруг полигона проектируют водоотводную канаву.

На расстоянии 1...2 м от водоотводной канавы устраивают ограждение вокруг полигона. Также по периметру полигона на полосе 5...8 м высаживают древесно-кустарниковую растительность, прокладывают инженерные коммуникации (водопровод, канализацию), устанавливают мачты электроосвещения, отсыпают кавальеры минерального грунта для использования его на изоляцию ТБО.



**Рис. 6.2.** Схема размещения основных сооружений полигона:

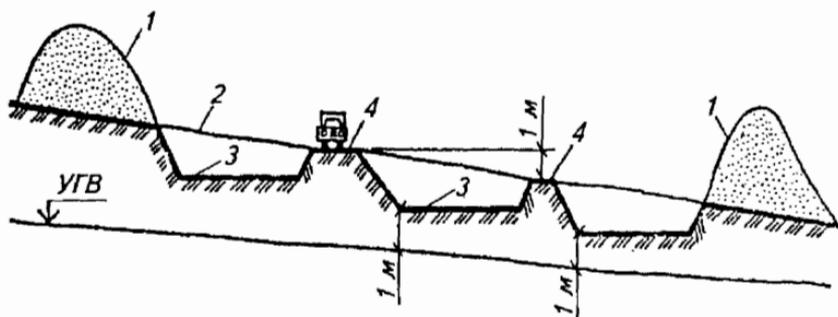
*a* — при соотношении длины и ширины полигона; 2:1; *b* — при соотношении более 3:1; 1 — подъездная автодорога; 2 — хозяйственная зона; 3 — нагорный канал; 4 — ограждение; 5 — зеленая зона; 6 — кавальер минерального грунта для изоляции слоев ТБО; 7 — участки складирования отходов; I, II, III — очереди эксплуатации

Хозяйственную зону проектируют на пересечении подъездной автодороги с границей полигона, что способствует эксплуатации зоны на любой стадии заполнения полигона ТБО. В хозяйственной зоне размещают бытовые и производственные сооружения. Под хозяйственную зону желательно отводить прямоугольный участок и как можно ближе к последней очереди складирования ТБО. На участках складирования вытянутой формы хозяйственную зону размещают посередине длинной стороны. Хозяйственная зона занимает площадь 5...15 % всей площади полигона.

Схема размещения основных сооружений полигона приведена на рисунке 6.2.

#### 6.4.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА СКЛАДИРОВАНИЯ

На участке складирования проектируют устройство котлована с целью получения грунта для промежуточной и окончательной изоляции. Среднюю глубину котлована, отрываемого в основании по-



**Рис. 6.3. Каскад котлованов в основании полигона, проектируемого на склонах:**

1 — кавальер минерального грунта; 2 — дневная поверхность земли до разработки котлована; 3 — основание участка складирования отходов; 4 — автодорога

лигона, рассчитывают из условия баланса грунтовых масс и уровня залегания грунтовых вод. Днище котлована устраивают на глубине не менее 1 м выше отметки максимального уровня грунтовых вод.

Грунт, разрабатываемый в котловане первой очереди, размещают в кавальерах, устраиваемых по периметру полигона, а второй и третьей очереди подают для промежуточной и окончательной изоляции отходов, размещаемых на картах в начале первой очереди, а затем второй. Грунт из кавальеров используют для промежуточной и окончательной изоляции отходов, размещаемых на картах третьей очереди.

Дно котлована устраивают горизонтально в том случае, когда в основании полигона строительство дренажа не требуется.

На склоновых землях с уклоном более 0,5 % проектируют каскад котлованов (рис. 6.3).

Разность отметок оснований двух смежных участков складирования не должна превышать 1 м (при большей разности отметок требуется расчет на устойчивость разделительных валов). При необходимости по верху промежуточных валов проектируют временную автодорогу для проезда мусоровозов и другой техники.

При размещении полигонов в оврагах каскад котлованов образуют, отсыпая грунтовые плотины.

Основание полигонов должны слагать связанные грунты в естественном состоянии с коэффициентом фильтрации воды не более 0,0086 м/сут, толщиной не менее 0,5 м. Для грунтов в основании полигона с коэффициентом фильтрации более 0,0086 м/сут предусматривают устройство искусственных водонепроницаемых экранов:

однослойного глиняного, выполняемого толщиной не менее 0,5 м. Исходная глина ненарушенной структуры должна иметь ко-

эффицент фильтрации не менее 0,001 м/сут. Поверх экрана укладывают защитный слой из местного грунта толщиной 0,2...0,3 м;

грунтобитумного, обрабатывая грунт основания органическими вяжущими веществами или отходами нефтеперерабатывающей промышленности на глубину 0,2...0,4 м с одной или двойной пропиткой в зависимости от состава размещаемых отходов и климатических условий;

двухслойного экрана из латекса, состоящего из спланированного подстилающего слоя минерального грунта толщиной 0,2 м, слоя латекса, промежуточного 0,4-метрового слоя из песчаного грунта, второго слоя латекса и защитного слоя из мелкозернистого грунта толщиной 0,5 м;

из полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей, в два слоя, состоящих из подстилающего слоя (песчаный грунт) толщиной 0,2 м и двух слоев полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм каждая. Между слоями пленок устраивают дренажный слой из крупнозернистого песка толщиной 0,4 м. По верху второй пленки укладывают защитный слой толщиной 0,5 м песчаного грунта с максимальным размером частиц до 5 мм.

Земельный участок, отводимый под складирование отходов на территории оврага, должен включать его верховую часть с целью организации сбора и отвода поверхностных вод. Грунт для промежуточной и окончательной изоляции разрабатывают с учетом принципов, изложенных в данном разделе.

Участок складирования по длине оврага разбивают, начиная с верховья, на очереди эксплуатации. Каждую очередь с пониженной стороны защищают грунтовыми дамбами, выполняемыми из минерального грунта, от образования оползней. Многокаскадная схема складирования отходов в овраг показана на рисунке 6.4.

Грунтовые дамбы проверяют расчетом на статическую устойчивость с учетом воздействия отходов в водонасыщенном состоянии.

При организации складирования отходов в выработанных карьерах необходимо устраивать съезды или выезды, обеспечивающие съезд и разгрузку мусоровозов на нижние отметки карьера и обратный их выезд.

Траншейную схему складирования отходов применяют при интенсивности приема ТБО до 120 тыс. м<sup>3</sup> в год в траншее глубиной 3...6 м и шириной по верху до 12 м. Располагают траншеи перпендикулярно направлению господствующих ветров. Грунт, вынимаемый при устройстве траншей, впоследствии используют для промежуточной и окончательной изоляции складированных в них отходов. Длина одной траншеи зависит от времени года и продолжительности приема ТБО: в летнее время в период положительных температур окружающего воздуха — в течение 1...2 мес, в зимнее время в период отрицательных температур — в течение всего периода промерзания грунтов.

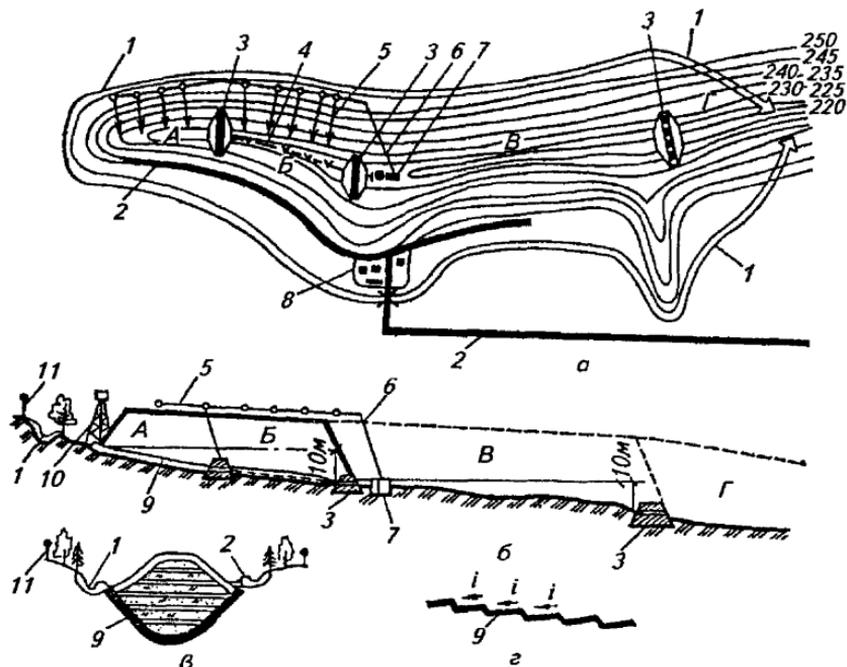


Рис. 6.4. Многокаскадная схема складирования отходов в овраг:

*a* — плановая компоновка полигона; *б, в* — разрезы; *г* — уступы, устраиваемые в основании высоко нагружаемого полигона; 1 — нагорный канал; 2 — автодорога; 3 — грунтовые дамбы; 4 — придонный дренаж; 5, 6 — напорный и распределительные трубопроводы для отвода и распределения фильтрата по поверхности свалочного грунта тела полигона; 7 — насосная станция; 8 — хозяйственная зона; 9 — противофильтрационный экран; 10 — мачта электроосвещения; 11 — ограждение; А — первый каскад первой очереди; Б — второй каскад первой очереди; В — вторая очередь; Г — участок на перспективу

Непосредственное складирование отходов в воду на болотистых и периодически заливаемых паводковыми водами участках не допускается. Использованию таких участков должна предшествовать организация строительных работ по подъему территории путем подсыпки инертных материалов в основание полигона на высоту, превышающую на 1 м максимальный уровень поверхностных и паводковых вод. На подсыпанном основании устраивают водоупорный экран.

#### 6.4.3. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЗОНА И ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Хозяйственную зону проектируют для размещения административно-бытового корпуса; контрольно-пропускного пункта совместно с пунктом стационарного радиометрического контроля; весовой; гаража с навесом и мастерской для стоянки и ремонта машин и механизмов; склада ТСМ; складов для размещения энергоресурсов, строительных материалов, спецодежды, хозяйственного инвентаря и других материалов; объектов и линий электроснабжения и других сооружений.

Территория хозяйственной зоны должна иметь твердое покрытие, освещение и въезд со стороны полигона.

На крупных полигонах, рассчитанных на срок эксплуатации свыше 15 лет, водоснабжение обеспечивается из артезианских скважин, проектируемых в составе объектов полигона. На меньших полигонах, рассчитанных на срок эксплуатации менее 15 лет, по согласованию с органами санэпиднадзора водоснабжение обеспечивается привозной водой.

На выезде из полигона должен быть контрольно-дезинфекционный пункт с устройством железобетонной ванны длиной 8 м, глубиной 0,3 м и шириной 3 м для дезинфекции колес мусоровозов. Железобетонную ванну заполняют трехпроцентным водным раствором лизола и опилками.

Учитывая частые пожары на свалках, на полигонах необходимо устраивать систему пожаротушения. Расход воды на наружное пожаротушение составляет 10 л/с. Для этого проектируют железобетонный резервуар или пруд вместимостью не менее 50 м<sup>3</sup>.

Для исключения несанкционированного удаления отходов и уменьшения загрязнения прилегающих земель полигон ограждают. Ограждение можно заменить осушительной траншеей, устраиваемой глубиной не менее 2 м, или валом, отсыпаемым высотой более 3 м. В ограде полигона у производственно-бытового здания устраивают ворота или шлагбаум.

Наружное освещение по постоянной схеме предусматривают только хозяйственной зоны. Суточные карты освещают по временной схеме. Минимальную освещенность рабочих (суточных) карт принимают 5 лк.

#### 6.4.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДРЕНАЖА ДЛЯ СБОРА И ОТВОДА ФИЛЬТРАТА. ОЧИСТКА И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ФИЛЬТРАТА

На объемы фильтрата, образованного в толще полигонов, существенно влияют осадки и плотность складированных ТБО. Уплотнение отходов на свалке снижает проницаемость свалочного грунта, что уменьшает объем образующегося фильтрата в нем, но не решает всех проблем негативного его воздействия на окружающую среду. Поэтому на ряде зарубежных высоконагружаемых полигонах захоронения ТБО предусматривают строительство внутреннего дренажа. Схема для расчета горизонтального трубчатого дренажа, располагаемого в основании проектируемого полигона, приведена на рисунке 6.5.

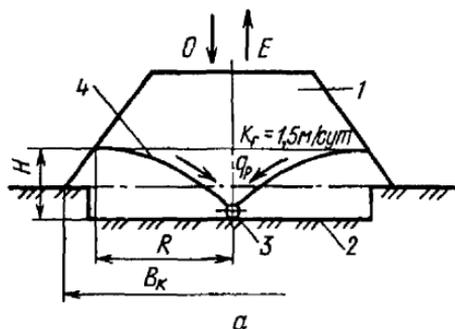
Расчет дренажа ведут в такой последовательности.

Определяют приток фильтрата к дрене, м<sup>3</sup>/сут на 1 м погонной длины,

$$Q = q_p F / l_{др}, \quad (6.4)$$

где  $q_p$  — расчетное инфильтрационное питание, принимаемое как максимальное значение из расчетных значений инфильтрационного питания зимне-весеннего  $q_{p(з/в)}$  или летне-осеннего  $q_{p(л/о)}$  периодов, м/сут;  $F$  — водосборная площадь полигона, м<sup>2</sup>;  $l_{др}$  — длина дрены, м.

Рис. 6.5. Схема для расчета дренажа:



*a* — для одиночной дрены; *b* — для нескольких дрен; 1 — тело полигона; 2 — дно котлована; 3 — дрена; 4 — депрессионная кривая; *O* — осадки; *E* — испарение; *H* — напор;  $q_p$  — инфильтрационный приток фильтрата к дрине; *R* — горизонтальная проекция депрессионной кривой;  $B_k$  — ширина котлована;  $H_1$  — норма осушения;  $B_1$  — расстояние между дренами

Расчетное значение инфильтрационного питания за зимне-весенний период

$$q_{p(з/в)} = [\alpha O_{(з/в)} - E_{(з/в)}] / T_{(з/в)}, \quad (6.5)$$

где  $\alpha$  — доля осадков, впитавшихся в почву (в зимне-весенний период, когда грунт еще не оттаял,  $\alpha = 0,6$ , в летне-осенний период  $\alpha = 1,0$ );  $O_{(з/в)}$  — осадки за зимне-весенний расчетный период

од, приведенные к 10%-й обеспеченности, мм;  $E_{(з/в)}$  — испарение с поверхности полигона ТБО за зимне-весенний расчетный период;  $T_{(з/в)}$  — продолжительность зимне-весеннего периода, сут.

Осадки за зимне-весенний расчетный период, приведенные к 10%-й обеспеченности,

$$O_{(з/в)} = O_0 p_1 k, \quad (6.6)$$

где  $O_0$  — среднемноголетнее значение осадков 50%-й обеспеченности, определяемое по справочнику;  $p_1$  — процентное распределение элементов водного баланса для осадков за зимне-весенний период (табл. 6.1);

### 6.1. Процентное распределение элементов водного баланса в зависимости от среднемноголетней годовой суммы

Элементы водного баланса	Зима (01.10...10.03)	Весна (10.03...15.04)	Лето (15.04...15.09)	Осень (15.09...01.12)
Осадки, %	30	7	39	24
Испарение (с водной поверхности), %	7	5	77	11

$k$  — коэффициент, учитывающий изменение количества осадков при переходе к другой расчетной обеспеченности,  $k = f(C_v^1) C_v^1 = C_v v$ ;  $C_v$  — коэффициент вариации, определяемый по справочнику, равный 0,3...0,5;  $v$  — поправочный коэффициент при площади водосбора  $F = 0...50$  га,  $v = 1,25$ .

$Cv^1$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$k$	0,13	0,126	1,4	1,54	1,67	1,8	1,94	2,06	2,19	2,6

Испарение с ~~водной~~ поверхности полигона ТБО за зимне-весенний период, мм,

$$E_{(з/в)} = E_0 p_2 k^1, \quad (6.7)$$

где  $E_0$  — испарение с водной поверхности, принимают по справочной литературе, мм;  $p_2$  — процентное распределение элементов водного баланса (для условий испарения с водной поверхности за зимне-весенний расчетный период) определяют по таблице 6.1;  $k^1$  — коэффициент приведения испарения с водной поверхности к испарению с поверхности полигона ТБО,  $k^1 = 0,7$ .

Осадки за летне-осенний расчетный период, приведенный к 10%-й обеспеченности,

$$O_{(л/о)} = O_0 p_3 k, \quad (6.8)$$

где  $p_3$  — процентное распределение элементов водного баланса для осадков летне-осеннего периода (см. табл. 6.1).

Испарение с поверхности полигона за летне-осенний период

$$E_{(л/о)} = E_0 p_4 k^1, \quad (6.9)$$

где  $p_4$  — процентное распределение элементов водного баланса для испарения с водной поверхности за летне-осенний период, см. табл. 6.1.

Расчетное инфильтрационное питание за летне-осенний период

$$q_p (л/о) = (\alpha O_{(л/о)} - E_{(л/о)}) / T_{(л/о)}, \quad (6.10)$$

где  $T_{л/о}$  — продолжительность летне-осеннего расчетного периода, сут.

Выбрав максимальное значение инфильтрационного питания из рассчитанных по формулам (6.5) и (6.10), расчетное значение притока фильтрата к дрене получают по формуле (6.4).

После этого можно определить положение кривой депрессии на границах полигона. При устройстве одиночной дрены, расположенной в середине основания полигона, высота выклинивания депрессионной кривой на откосе полигона

$$H = \sqrt{QR / K_f}, \quad (6.11)$$

где  $R$  — горизонтальная проекция кривой депрессии, м;  $K_f$  — осредненный коэффициент фильтрации свалочного грунта, м/сут.

В случае высокого подъема депрессионной кривой и высачивания фильтрата на откосах полигона одиночной дрены, расположенной по середине основания полигона, недостаточно. Поэтому необходимо рассмотреть устройство нескольких дрэн. Тогда, задава-

ьясь требуемой нормой осушения тела полигона  $H_1$ , вычисляют междреннее расстояние, м,

$$B = 2H_1 \sqrt{K_f/q_p}. \quad (6.12)$$

Следовательно, для обеспечения требуемой нормы осушения расчетное число дрен

$$N = B_k/B, \quad (6.13)$$

где  $B_k$  — расчетная ширина (длина) котлована, м;  $B$  — междреннее расстояние, м.

Уточненное междреннее расстояние, м,

$$B_1 = B_k/N. \quad (6.14)$$

Затем определяют удельный приток фильтрата, приходящийся на 1 м погонной длины дрены,  $m^3/сут$ ,

$$Q_1 = q_p F/l_{др} N. \quad (6.15)$$

Расход фильтрата в устье дрены:

$$Q_{устья} = Q_1 l_{др}. \quad (6.16)$$

Задаваясь значением продольного уклона дрены, по справочнику подбирают соответствующий внутренний диаметр дренажных труб.

Собираемый и затем отводимый дренажной системой фильтрат токсичен, поэтому перед сбросом в природную среду его очищают от загрязняющих веществ, которые обезвреживают.

На выбор способа очистки и обезвреживания фильтрата, образующегося в толще полигонов и свалок, влияют его количество, состав и свойства.

Объем отводимого фильтрата  $Q_{ф} = Q_{устья} N$ .

Фильтраты свалок ТБО отличаются многообразием содержащихся в них загрязняющих компонентов, среди которых тяжелые металлы, галогенпроизводные, биологически окисляемые органические вещества, азот в различных формах, растворители, соли и др.

Специалисты отмечают, что обезвредить фильтраты труднее, чем обработать канализационные стоки: фильтраты могут иметь в 200 раз и более высокую химическую потребность в кислороде (ХПК), а их состав и объем изменяются в достаточно широком диапазоне как по годам, так и по сезонам года.

Достаточно часто технологии, разработанные для обработки фильтрата одной свалки, теряют свою эффективность по мере ее старения и не всегда могут быть применены на другой свалке.

Широко применявшийся ранее способ распределения фильтра по поверхности почвы с целью самоочищения в ходе естественных биологических, физических и физико-химических процессов признан опасным, способствующим полному уничтожению плодородия почвы.

В целом методы обработки фильтрата свалок ТБО объединены в подгруппы:

канализавание (сброс в канализацию для последующей совместной обработки с бытовыми сточными водами и подача на поверхность свалки по замкнутому циклу);

биологическая обработка (аэробная и анаэробная);

химико-физическая обработка (химическое осаждение, химическое окисление, адсорбция с применением активированного угля, обратный осмос и др.).

Перекачка фильтрата со свалок в канализационные сети для дальнейшего обезвреживания его с городскими бытовыми стоками — наиболее распространенный метод. Основные трудности, возникающие при этом, связаны с высокой концентрацией органических и неорганических компонентов, имеющих в фильтрах как новых, так и старых свалок.

Совместная обработка фильтратов с бытовыми сточными водами допускается только в случаях, когда объем фильтрата не превышает 5 % подачи стоков на очистную установку. При больших объемах перекачиваемого фильтрата ухудшается качество очистки стоков, увеличивается коррозия узлов очистной установки. Высокие концентрации тяжелых металлов в фильтрате могут помешать и даже полностью исключить возможность использования в сельском хозяйстве осадка сточных вод в качестве удобрения.

Широко распространена, как из самых дешевых и ускоряющих процесс стабилизации закрытых свалок, технология распределения собранного фильтрата по поверхности складированного материала.

Установлено, что для стимулирования процесса биологического разложения органического вещества необходимо содержание в нем 50...70 % влаги. В засушливых районах или в жаркое сухое время года фильтрат, подаваемый на поверхность свалки, повышает биологическую активность, в результате снижается концентрация органических загрязняющих веществ и соответственно увеличивается минерализация отходов, повышается эффективность свалки как генератора биогаза.

Вместе с тем сокращение сроков биологической стабилизации свалки требует строгого учета ее гидрологических условий, равномерного распределения фильтрата по поверхности, постоянного контроля кислотности (рН) материала свалки. При значительных отклонениях от рН 7 снижается активность анаэробной заселенности микроорганизмами, увеличиваются сроки разложения органики.

Необходимо учитывать и тот факт, что такая технология способствует лишь уменьшению объема фильтрата в результате его испа-

рения, но не устраняет его полностью. Причем концентрация загрязняющих веществ в конечном стоке будет более высокой.

В последние годы за рубежом получили достаточно широкое применение способы биологической очистки фильтрата. Их делят на аэробные и анаэробные в зависимости от того, требуется ли поступление кислорода в среду биологической обработки или нет.

При аэробной обработке органические загрязнители преобразуются в углекислый газ и воду, а твердые биопродукты возвращаются в фильтрат, а при анаэробной обработке органические вещества преобразуются в биогаз, состоящий в основном из углекислого газа и метана, и твердую фазу — ил.

В Германии построены и работают несколько крупных установок по аэробной обработке фильтратов свалок производительностью около 4000 м<sup>3</sup>/сут. Режим эксплуатации и способ подачи фильтрата на установки имели соотношение БПК : N : P = 100 : 5 : 1.

Влияние температуры, времени выдержки фильтратов и наличие в них взвешенных твердых веществ изучали в лабораторных условиях. Установлено, что наименьшие снижения ХПК и содержания металлов в интервале температур 5...25 °С при выдержке в течение 5...60 сут соответствуют меньшим значениям, т. е. 5 °С и 5 сут. Значительно (на 30...60 %) ХПК снижается при температуре более 9 °С и продолжительности выдерживания отстоя более 10 сут. Отмечено, что высокое содержание взвешенных веществ при оптимальных значениях других параметров процесса ускоряет процесс седиментации и способствует связыванию металлов. При содержании в фильтрате 14...24 г/л взвешенных веществ удалось снизить их концентрацию, %: магния на 50, свинца и никеля на 75, алюминия, кадмия, хрома, железа, марганца и цинка на 95.

Анаэробная обработка фильтрата обеспечивает микробиологический анаэробный процесс в свалке и наиболее эффективна она в условиях высоких концентраций органических веществ, характерных для новых свалок.

При очистке фильтрата анаэробными методами обеспечивается снижение БПК на 65...80 % в температурном диапазоне 29...38 °С с уменьшением содержания алюминия, бария, кадмия, никеля и цинка более чем на 85 %, железа — на 80, хрома, меди, свинца и марганца — на 40...70, кальция — на 30 и магния, калия, натрия — на 10 %.

При этом в начале анаэробного процесса рН фильтрата доводят до рН > 7, добавляя известь, а недостаток фосфора восполняют, добавляя PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> до соотношения БПК : N : P = 100 : 5 : 1.

Получаемый в результате анаэробного разложения органики метан используют для поддержания оптимальной (35 °С) температуры в реакторе, а при избытке передают внешнему потребителю.

Основные преимущества анаэробной очистки фильтрата по сравнению с аэробной следующие:

- не требуется подача кислорода в обрабатываемую среду;
- значительно уменьшаются затраты энергии;

85...90 % органического вещества преобразуется в биогаз; образуется меньшее количество осадка, что облегчает его утилизацию;

требуется меньше добавок для питания микрофлоры;

уменьшаются размеры установки и соответственно площади и капитальные вложения на их строительство;

быстрее погибают патогенные организмы, особенно в термофильном режиме;

устраняются неприятные запахи;

увеличивается минерализация анаэробного осадка при удалении тяжелых металлов, что повышает ценность его как удобрения;

практически не требуется осаждения анаэробного осадка.

Недостатки анаэробной очистки по сравнению с аэробной:

необходимость высоких (более 30 °С) температур для достижения эффективной кинетики процесса;

сложность работы в период пуска и необходимость строго контроля условий процесса;

меньшая эффективность удаления тяжелых металлов;

необходимость дополнительной обработки для получения требуемой степени очистки.

При необходимости уменьшения содержания тяжелых металлов в осадке, получаемом при биологическом обезвреживании фильтрата свалок и полигонов, проводят дополнительную обработку его химико-физическими методами.

Для осаждения загрязняющих веществ при химико-физической обработке фильтрата обычно используют известь или глинозем. При этом фильтрат осветляется в результате укрупнения мелких взвешенных твердых частиц и удаления тяжелых катионов. В то же время выделяется большое количество осадка, а ХПК снижается не более чем на 40 %.

Химическое окисление при использовании  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ,  $\text{KMnO}_4$  или  $\text{O}_3$  дает лучшие результаты процесса осветления и снижает ХПК (до 48 %). Вместе с тем использование галогенов приводит к образованию опасных галогенированных соединений.

Адсорбция загрязняющих веществ с применением активированного угля в виде стержней или порошков позволяет достичь большего снижения концентрации органических веществ по сравнению с другими химико-физическими методами. Основным недостатком этого метода — необходимость частой регенерации угольных стержней и, как следствие, большой расход угольного порошка. Метод адсорбции с применением активированного угля используют только как последнюю, как правило, третью ступень очистки фильтрата. Конечное снижение ХПК при этом может составить 85 %.

Для предотвращения засорения мембран коллоидными веществами фильтрат предварительно обрабатывают известью (до pH 12), затем серной кислотой (до pH 3...6) и осаждают, добавляя  $\text{CaSO}_4$ . Предварительная обработка фильтрата уменьшает его мутность по-

чти на 90 %. Мембраны уменьшают содержание тяжелых металлов на 85...99 % от уровня растворенных твердых веществ.

Преимущества химико-физических способов очистки фильтратов свалок заключаются в быстром запуске процесса, возможности его автоматизации, нечувствительности к колебаниям температуры, простоте применяемых в большинстве случаев материалов и оборудования. В то же время химико-физические способы имеют и серьезные недостатки: большие объемы образующихся осадков вследствие использования флокулянтов, высокая стоимость оборудования, химических реагентов и затрат на эксплуатацию. Поэтому химико-физические способы применяют в основном для предварительной обработки фильтратов или на конечных ступенях после биологической очистки. Они наиболее эффективны при очистке фильтратов из старых свалок и для удаления отдельных загрязнителей, присутствующих в аномально больших концентрациях.

Вредные вещества, находящиеся в фильтрате свалок, различны по своей природе, а состав их очень обширен. Поэтому полностью очистить фильтрат каким-либо одним способом невозможно. Необходимость применения различных методов очистки фильтрата в комплексе диктуется также постоянным ужесточением требований к качеству очистки сточных вод перед сбросом их в канализацию и водные объекты.

Выбору способа очистки или их комбинации предшествует наиболее полное изучение состава образующегося фильтрата.

Принимаемый способ очистки должен обеспечить полное разрушение вредных веществ или превращение их в инертные материалы, а также исключить возможность образования вредных веществ в формах или видах, обезвредить которые было бы невозможно на последующих этапах очистки. При этом конечные и побочные продукты очистки фильтрата (шлам, осадок, концентрат, адсорбенты, зола, отходящие воздух и газы) должны быть обезврежены и по возможности утилизированы.

Немецкие специалисты предлагают следующие основные комбинации обработки фильтрата свалок ТБО, соответствующие современному уровню развития техники в этой области.

*Вариант 1.* Анаэробная предварительная обработка:

биологическая обработка фильтрата;  
адсорбция с применением активированного угля;  
осаждение (флокуляция);  
обработка осадка.

*Вариант 2.* Анаэробная предварительная обработка:

1-я ступень обратного осмоса;  
2-я ступень обратного осмоса;  
выпаривание концентрата и его сушка.

*Вариант 3.* Анаэробная предварительная обработка:

биологическая обработка;

одно- или двухступенчатый обратный осмос;  
обработка концентрата или осадка.

**Вариант 4.** Выпаривание фильтрата и сушка осадка:  
разгонка выпара;  
одноступенчатый обратный осмос для выпара.

Применяя любой метод, особое внимание необходимо уделять конечному твердому остатку (осадку, шламу, илу), загрязненность которого не должна препятствовать складированию остатка тут же, на свалке, где очищается фильтрат.

В США наибольшее распространение получили *методы биологической очистки фильтрата свалок*. Так, в штате Огайо образующийся на свалке ТБО фильтрат собирают в накопительный колодец и затем на специальных автомобилях направляют на установку очистки сточных вод сталелитейного завода. Там фильтрат проходит биологическую очистку совместно с хозяйственно-бытовыми стоками завода. Технологическая схема станции биологической очистки состоит из смесительного бака, отстойника и вращающегося биологического контактора диаметром 3,6 м. Опытным путем установлено, что добавление азота существенно увеличивает эффективность очистки фильтрата от бензола, толуола, фенола, ацетона, кетонов и сульфидов.

Передовой технологией очистки фильтрата оснащена городская свалка ТБО в окрестностях Нью-Йорка (США), где реализован многостадийный процесс. Собранный подземной дренажной системой фильтрат подают в так называемый усреднительный пруд вместимостью 5,68 тыс. м<sup>3</sup>. Затем содержимое пруда перекачивается в сооружения, где происходит отделение тяжелых металлов при рН 10. Для повышения эффективности осаждения используют полимерные флокулянты. Далее фильтрат поступает в нейтрализатор, где его рН снижается до 7, а затем в двоянные реакторы с фиксированной взвешенной биомассой анаэробной очистки. При поддержании заданного режима и постоянного значения рН органическое вещество разлагается практически полностью с образованием метана. Из реакторов фильтрат подают в газоотделительную емкость, где производится интенсивный барботаж его воздухом. Завершает технологическую цепочку двухступенчатая аэробная очистка с последующим фильтрованием.

В Японии в 70-х годах технологии очистки фильтрата свалок значительно усложнились в связи с ужесточением природоохранных требований. Фильтрат свалок там подвергают полной биологической очистке, включая денитрификацию, обработку с целью извлечения тяжелых металлов и адсорбционную нейтрализацию с применением активированного угля. Такими очистными сооружениями оборудовано около 1000 свалок.

В Швейцарии все более широко используют системы очистки фильтрата свалок с применением растений. Так, с 1989 г. на одной из свалок ТБО в районе Боденского озера действует установка с бо-

лотными растениями, способными усваивать и концентрировать тяжелые металлы, фенолы, фосфаты, пестициды, нефтепродукты. Образующуюся в итоге загрязненную биомассу затем перерабатывают как ценное сырье.

#### **6.4.5. МЕРОПРИЯТИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УМЕНЬШЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОГАЗА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Оценивают опасность газохимической загрязненности объекта и применяют решения по ее устранению по срокам течения активных микробиологических процессов на свалке ТБО и количеству биогаза, образующегося в разное время.

Цель дегазации свалок, по мнению зарубежных специалистов, — исключить отрицательное воздействие биогаза на окружающую среду. Для этого свалки герметизируют, чтобы предотвратить неконтролируемую утечку биогаза, или целенаправленно собирают и обезвреживают его.

Для полного исключения эмиссии биогаза исследуют процессы его распространения в каждом конкретном случае. Как показывает практика эксплуатации полигонов ТБО, биогаз, образующийся в толще складированных отходов, распространяется преимущественно в горизонтальном направлении и эмиссионная ситуация зависит главным образом от состояния верхнего слоя отходов и степени их изоляции от атмосферного воздуха. Смешение биогаза с атмосферным воздухом происходит в верхнем, более рыхлом слое свалки. При уплотненном верхнем слое или наличии герметичного покрытия свалки биогаз концентрируется и выделяется на откосах и ограниченных участках поверхности полигона.

Для дегазации свалок используют два основных метода: пассивной дегазации, осуществляемой за счет собственного избыточного давления, имеющегося в толще свалки, и активной дегазации, осуществляемой с помощью специальных устройств для добычи газов.

*Пассивную дегазацию* свалок применяют редко, так как этот метод недостаточно эффективен и требует высокой степени изоляции свалки.

Для *активной дегазации* используют средства, обеспечивающие высококачественный отсос биогаза и предотвращающие его утечку.

Надежно защитить эмиссию биогаза по периметру свалки можно, разместив газосборные колодцы на расстоянии до 30 м друг от друга, а также поддерживая более высокое разрежение. В результате мигрирующий биогаз принудительно смешивается с большим количеством воздуха, что в большинстве случаев исключает возможность его использования из-за образования взрывоопасных смесей биогаза с воздухом.

Эффективная дегазация возможна при обеспечении существенного разрежения в толще свалки; сведении до минимума подсоса

воздуха; стабильности работы сооружения в течение длительного времени; наличии достаточной мощности по отводу газа.

Хорошо зарекомендовали себя системы вертикальных скважин, соединенные горизонтальными дегазационными трубопроводами.

*Вертикальная газовая скважина* представляет собой колодец диаметром 0,6...1,2 м, внутри которого имеется перфорированная труба из полиэтилена высокого давления или другого антикоррозионного материала. Горизонтальные трубопроводы, соединяющие газовые скважины, выполняют из полиэтиленовых труб. По образованной системе трубопроводов биогаз подается на сжигание либо на утилизацию другим способом.

Энергетически полезным считают биогаз с отношением концентрации  $\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 1:5$ .

Однако при использовании сооружений систем дегазации свалок возможны нарушения анаэробных условий в толще отходов, приводящие к подавлению процесса метаногенеза. Так, отношение концентрации  $\text{CH}_4 : \text{CO}_2$  в биогазе менее 1:2, а также наличие кислорода и присутствие азота в количестве более 1 %, что является сигналом проникновения в толщу воздуха. В этом случае необходимы срочные меры по дополнительной герметизации скважин.

Гольштейнское газовое общество (ФРГ) разработало конструкцию газового зонда, обеспечивающего необходимые условия при сооружении системы дегазации свалок. Зонд выполнен в виде шлифованной трубы с внутренним диаметром 400...500 мм и длиной 6...10 м. С помощью проходческой насадки, имеющей форму трубы, его забивают в тело свалки на глубину до 35 м.

В процессе забивки труб уплотняется свалочный грунт в пристенной зоне, что препятствует преимущественно горизонтальному перемещению биогаза. Для устранения этого явления корпус зонда оборудован крестообразным рыхлителем.

Вместе с проходческой насадкой в скважину вводят закрепленную в корпусе зонда трубу из полиэтилена высокого давления диаметром 160 мм.

Зонд может быть укомплектован устройствами для прокачки газосборной камеры, чтобы периодически очищать ее от проникающей грязи.

При загрязнении и закупоривании зонд можно открыть и очистить с помощью подаваемого под давлением биогаза, а также подходящего для этих целей инертного газа.

Наконец, возможно прямое воздействие на процесс в зоне расположения зонда за счет внесения субстанций микроорганизмов, штаммов и других сред, разлагающих метан.

На трех свалках в районе Гамбурга (ФРГ) уже установлено до 200 зондов, биогаз от которых используется в одной утилизационной установке. Расчетная мощность установки 14 МВт, что соответствует расходу получаемого биогаза около 2500 м<sup>3</sup>/ч. Проведенные анализы состава биогаза дали среднее значение отношения концентраций  $\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 1:4...1:7$ .

## 7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОЛИГОНОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА В ЗОНЕ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ

### 7.1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОЛИГОНОВ

На полигоне в процессе эксплуатации выполняют следующие основные работы: прием, складирование и изоляция отходов. Учитывают принимаемые отходы по объему в неуплотненном состоянии, отмечают принятое количество отходов в «Журнале приема твердых бытовых отходов». Категорически запрещается вывоз на полигоны отходов, пригодных к использованию в качестве вторичных ресурсов, а также токсичных, радиоактивных и биологически опасных. Организация работ на полигоне определяется технологической схемой эксплуатации полигона, разрабатываемой в составе проекта. Технологическая схема представляет собой стройгенплан полигона, составленный на период эксплуатации его, с учетом сезонности и последовательности выполнения работ на площадках складирования и в местах размещения минерального грунта, используемого для изоляции отходов.

Основной документ планирования работ — график эксплуатации, составляемый ежегодно, в котором помесечно планируют количество принимаемых отходов с указанием номеров рабочих карт и мест разработки грунта для изоляции ТБО.

Организация работ по эксплуатации полигона должна соответствовать требованиям охраны окружающей среды и обеспечивать максимальную производительность средств механизации и технику безопасности.

На полигоне организуют бесперебойную разгрузку мусоровозов, для чего площадку перед рабочей картой разбивают на две части (участка). На одном участке разгружаются мусоровозы, на другом работают бульдозеры или грунтоуплотняющие катки. Причем размер площадки должен обеспечивать разгрузку мусоровозов и беспрепятственный выезд каждой выезжающей машины.

Продолжительность приема мусоровозов под разгрузку на одном участке принимают 1...2 ч. Минимальная площадь перед рабочей картой с учетом разбивки ее на две части должна обеспечивать одновременную разгрузку 12 % мусоровозов, прибывающих в течение рабочего дня.

Беспорядочное складирование ТБО за пределами рабочей карты, отведенной на текущие сутки, не допускается. Выгруженные из машин отходы складировать на рабочей карте шириной 5 м (для траншейных 12 м), длиной 30...150 м. Заполняют рабочие карты по методам «надвиг» и «сталкивание».



**Рис. 7.1. Структурная схема основных операций, выполняемых при эксплуатации полигонов ТБО**

Методом «надвиг» рабочие карты заполняют перемещением отходов снизу вверх. Для этого бульдозеры сдвигают отходы с площадки разгрузки на рабочую карту, создавая слои высотой до 0,5 м, уплотняя и формируя из них вал с пологим откосом высотой 2 м от уровня площадки разгрузки мусоровозов. Вал следующей рабочей карты «надвигают» к предыдущему. Уплотненный слой ТБО высотой 2 м изолируют слоем минерального грунта толщиной 0,15...0,25 м в зависимости от степени уплотнения отходов. По мере заполнения рабочих карт фронт работ перемещается от отходов, уложенных в предыдущие сутки, в сторону свободных рабочих карт.

Методом «сталкивания» рабочие карты заполняют, перемещая отходы сверху вниз. В этом случае мусоровозный транспорт разгружается на верхней площадке изолированной рабочей карты, сформированной в предыдущий день. По мере заполнения рабочих карт фронт работ перемещается вперед, по уложенным в предыдущие сутки ТБО.

Сдвигают отходы, разгруженные мусоровозами на рабочие карты, бульдозерами, а уплотняют отходы, уложенные на рабочей карте слоями до 0,5 м, тяжелыми бульдозерами массой 14 т на базе

тракторов Т-100 и Т-130 или грунтоуплотняющими катками марки КМ-305. Бульдозеры и карты при уплотнении ТБО перемещаются вдоль длинной стороны рабочих карт двух-четырежды попутным проходом по одному и тому же следу.

Промежуточную и окончательную изоляцию уплотненного слоя ТБО осуществляют минеральным грунтом. При складировании ТБО на открытых незаглубленных картах промежуточную изоляцию в теплое время года проводят ежедневно, в холодное время года — с интервалом не более 3 сут. Толщина слоя промежуточной изоляции 0,25 м, при уплотнении катками КМ-305 — 0,15 м. Разрабатывают и доставляют минеральный грунт для промежуточной изоляции на рабочие карты скреперами.

Основные операции, выполняемые в процессе эксплуатации полигонов, показаны на рисунке 7.1.

Соблюдение этой последовательности обеспечивает выполнение требований охраны окружающей среды.

## **7.2. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ОБЪЕКТАХ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**

В местах захоронения отходов экологическая обстановка значительно хуже, что связано с загрязнением практически всех компонентов природной среды: атмосферы, почвенного покрова, поверхностных и подземных вод. В связи с этим в местах утилизации отходов необходим мониторинг природной среды, представляющий собой систему дискретных и непрерывных наблюдений за состоянием природной среды и ее оценки для своевременного выявления и устранения негативных антропогенных процессов, а также осуществления комплекса эффективных природоохранных мероприятий на основе оперативных и среднесрочных прогнозов состояния природной среды.

В состав мониторинга участка утилизации отходов и прилегающих к ним территорий входят:

1. Система наблюдений и контроль за уровнем загрязнения всех компонентов природной среды (атмосферного воздуха, почв, пород зоны аэрации, поверхностных и подземных вод).

2. Оценка состояния отдельных компонентов природной среды на основе экологических и санитарно-эпидемиологических критериев; комплекс оперативных и среднесрочных прогнозов состояния природной среды для разработки эффективных природоохранных мероприятий.

3. Получение полной, своевременной и достоверной информации о состоянии природной среды в местах обезвреживания и захоронения отходов и прилегающих территорий, а также показателей технического состояния природоохранных сооружений.

4. Обеспечение всех пользователей своевременной и полной информацией о состоянии природной среды.

5. Разработка эксплуатационных, технологических и строительных природоохранных мероприятий по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод.

6. Оценка эффективности осуществляемых природоохранных мероприятий.

Учитывая масштабы и интенсивность источников загрязнения природной среды по иерархическому признаку и пространственно-временному уровню, мониторинг в местах обезвреживания и захоронения отходов относится к локальному или импактному, так как он связан с конкретными объектами источников загрязнения (полигоны по обезвреживанию и захоронению коммунальных, промышленных, сельскохозяйственных отходов).

Важными показателями данного вида антропогенного воздействия на окружающую среду являются характерные масштабы ландшафтно-гидродинамического и ландшафтно-гидрохимического перераспределения загрязняющих веществ в местах сопряжения между различными компонентами природной среды. По данному признаку природно-антропогенные процессы на участках утилизации отходов относятся к медленно протекающим процессам, наблюдения за которыми целесообразно проводить периодически.

Основными объектами мониторинга в местах обезвреживания и захоронения отходов являются атмосфера, поверхностные и подземные воды, почва, биота, урбанизированная среда, население.

Атмосферный воздух представляет собой одну из важнейших составных частей природной среды, подвергающейся интенсивному воздействию в результате поступления газообразных, аэрозольных и дисперсных загрязняющих веществ с участков захоронения отходов. Атмосферный воздух загрязняется за счет выброса достаточно большого количества газообразных отравляющих веществ, например метана, сероводорода и других газообразных веществ, и теплового загрязнения. Загрязнения атмосферного воздуха подразделяют на первичное и вторичное. Первичное загрязнение является результатом выброса собственно загрязняющих веществ в атмосферу, а вторичное — это результат сложных физико-химических превращений загрязняющих веществ или их соединений.

Состояние атмосферного воздуха в зоне обезвреживания и захоронения отходов оценивают по содержанию водяного пара, метана, азота воздуха, диоксида серы, фтористого водорода, температуре воздуха и другим показателям.

Почвенный покров также является важнейшим компонентом природной среды, испытывающим заметное антропогенное воздействие в зоне захоронения отходов. Приоритетные показатели экологического состояния — степень засоленности последних легкорастворимыми солями, загрязненность тяжелыми металлами, наличие органических загрязняющих веществ, реакция среды.

В первом случае засоление почв определяется присутствием в водных вытяжках ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ; во втором случае — наличием тяжелых металлов: Ni, Pb, Zn, Cr, V, Kd, Zr и др.

Следует отметить, что многие тяжелые металлы, содержащиеся в почвах в незначительных количествах, служат микроэлементами, необходимыми для жизни растений, а содержащиеся в количествах, превышающих ПДК, являются высокотоксичными загрязнителями, пагубно влияющими на растения. Так цинк снижает интенсивность процессов преобразования органического вещества в почвах, вызывает изменение физических и физико-химических свойств почв, достаточно легко поглощается растениями.

Свинец также отрицательно влияет на биологическую деятельность в почве, ингибируя активность ферментов, нарушает метаболизм микроорганизмов. Свинец хорошо поглощается и накапливается растениями, что замедляет их рост и ведет к постепенной гибели. Скармливание животным кормов, содержащих в 1 кг 3 мг свинца в сухой массе и более, приводит к накоплению его в тканях животных. Накопление свинца в организме человека вызывает серьезные заболевания, например анемию, энцефалопатию и др.

Наиболее негативно свалки воздействуют на подземные и поверхностные воды. В местах складирования отходов формируются антропогенные водоносные горизонты, по уровню загрязнения превышающие все существующие техногенные образования в подземной гидросфере. Основным источником поступления загрязнителей в подземные горизонты грунтовых вод — уникальный по своей токсичности фильтрат (и биогаз), формирующийся в анаэробных условиях в толще свалки в результате процессов деполимеризации, сбраживания, гумификации органического вещества, сульфатредукции и т. п. процессов. В результате минерализации фильтрат достигает нескольких десятков грамм на 1 л. В фильтрате присутствуют ионы аммония и хлора, в высокой концентрации макрокомпоненты, содержание которых составляет несколько грамм на 1 л, тяжелых металлов (цинк, свинец, никель, хром, кадмий и другие тяжелые металлы). В фильтрате формируются органические соединения смешанных рядов, ароматические, ациклические и карбонильные соединения всех классов опасности.

Известно, что наряду с пылью и мелкими фракциями ТБО, которые разносятся с территории свалок ветром, основным источником неблагоприятного воздействия этих объектов на окружающую среду является газ, выделяющийся из толщи складированных отходов. Установлены его основные компоненты — метан и диоксид углерода. Поэтому полигоны необходимо оборудовать системами газового мониторинга и мониторинга грунтовых вод.

*Система газового мониторинга* — это система труб, предназначенная для отбора проб, смонтированная на поверхности почвы по

периметру полигона и расположенная выше уровня грунтовых вод для того, чтобы обнаружить любой газ, мигрирующий из полигона.

*Система мониторинга грунтовых вод* — это система скважин, колодцев или шурфов, размещенных в определенных местах и пробуренных на глубину ниже уровня грунтовых вод для взятия образцов с целью определения их качества.

Перед взятием пробы необходимо произвести предварительную откачку или водоотлив, так как вода в контрольных колодцах, скважинах или шурфах застаивается. Также необходимо следить, чтобы при отборе проб в воду вместе со шлангом или другими инструментами и материалами не были внесены загрязнения.

Нагорные каналы и водоотводные канавы необходимо очищать регулярно, так как загрязнения из них могут попасть в поверхностные воды. На участках, где в граничных водоотводных сооружениях постоянно имеется сток, из них отбирают пробы воды для проведения анализов.

Мастер полигона не реже одного раза в декаду осматривает санитарно-защитную зону и принимает меры по устранению выявленных нарушений (ликвидация несанкционированных свалок, очистка территории от хлама и т. д.). Один раз в квартал контролирует правильность формирования внешних откосов полигона, заложение которых должно быть  $m = 4$ .

На территории полигонов категорически запрещается сжигание ТБО и сбор утиля.

С целью исключения несанкционированного складирования отходов, содержащих радионуклиды, отходы, поступающие на полигон, проходят радиационный дозиметрический контроль. Для этих целей используют геолого-разведочные поисковые приборы СРП-68-01 или СРП-88Н.

---

## **8. ЗАКРЫТИЕ ПОЛИГОНА, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ПЕРЕДАЧА УЧАСТКА ПОД ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**



Закрывают полигон для приема отходов после отсыпки его на отметку, установленную в проекте. На высоконагружаемых полигонах со сроком эксплуатации не менее 5 лет допускается превышение проектной отметки на 10 %.

Последний слой отходов перед закрытием полигона засыпают слоем грунта с учетом дальнейшей рекультивации.

Защитные экраны, устраиваемые по верху свалочного грунта, — основные элементы, обеспечивающие главную природоохранную

функцию. Конструкция защитных экранов представляет собой комбинацию изоляционных и фильтрующих элементов, собирающих и отводящих просачивающиеся поверхностные воды, атмосферные осадки и биогаз.

Строят защитный экран в такой последовательности. Предварительно разравнивают отдельные неровности по поверхности полигона, после чего выполняют общую планировку всей поверхности с незначительным уклоном к краям полигона ( $i = 0,01...0,05$ ). Затем отсыпают выравнивающий слой толщиной не менее 0,5 м из минерального грунта или очищенного строительного мусора с фракциями диаметром 4...32 мм.

При наличии процесса газообразования в толще свалочного грунта устраивают по верху выравнивающего слоя слой из газопроводящего материала, например песка толщиной не менее 0,3 м.

После этого по верху газопроводящего слоя выполняют противофильтрационный экран, состоящий из двух слоев глины толщиной 0,25 м каждый и слоя синтетической рулонной изоляции толщиной не менее 2,5 мм. Для устройства противофильтрационного экрана используют глины с коэффициентом фильтрации не менее  $K_f = 5 \cdot 10^{-10}$  м/с. Окончательное устройство изолирующего слоя полигона зависит от направления его рекультивации.

Укрепляют наружные откосы полигона с начала его эксплуатации по мере увеличения высоты складирования. Материалом для укрепления наружных откосов служит минеральный потенциально плодородный грунт, изъятый в основании полигона, и плодородный грунт, забираемый из временных кавальеров.

Для защиты внешних откосов полигонов от эрозионных процессов их озеленяют: на первом этапе посевом трав непосредственно после укладки потенциально плодородного и плодородного слоев грунта.

Рекультивация закрытых полигонов — комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности восстанавливаемых территорий, а также на улучшение окружающей среды.

Рекультивацию проводят по окончании стабилизации закрытых полигонов — процесса упрочнения свалочного грунта, достижения им постоянного, устойчивого состояния, сроки которого определяют по таблице 8.1.

### 8.1. Сроки стабилизации закрытых полигонов для различных климатических зон

Вид рекультивации	Климатическая зона		
	южная	средняя	северная
Посев многолетних трав, создание пашни, сенокосов, газонов	1	2	3
Посадка кустарника и деревьев	2	2	3
Создание огородов и садов	10	10	15

Направление рекультивации определяет дальнейшее целевое использование рекультивируемых территорий. Наиболее приемлемы для закрытых полигонов сельскохозяйственное, лесохозяйственное, рекреационное и строительное направления рекультивации.

*Сельскохозяйственное направление рекультивации* закрытых полигонов осуществляют при расположении полигона в зоне землепользования или иного сельскохозяйственного предприятия. Цель его — создание на нарушенных в процессе заполнения полигона землях пахотных, сенокосных и сенокосно-пастбищных угодий, коллективного садоводства. При сельскохозяйственном направлении рекультивации выращивать овощи и фрукты, а также вести коллективное садоводство допускается через 10...15 лет, а создавать сенокосно-пастбищные угодья — через 1...3 года после закрытия полигона.

*Лесохозяйственное направление рекультивации* — создание на нарушенных полигонами землях лесных насаждений различного типа. Лесоразведение предусматривает создание и выращивание лесных культур мелиоративного, противоэрозионного, полезащитного, ландшафтно-озеленительного назначения через 2...3 года после закрытия свалки.

Толщина верхнего изолирующего слоя на участках закрытых полигонов, используемых в последующем под открытые склады тары непищевого назначения, должна составлять не менее 1,5 м.

*Рекреационное направление рекультивации* закрытых полигонов возможно после перекрытия свалочного грунта экраном, состоящим из выравнивающего слоя, выполняемого отсыпкой инертного материала, газо- и водонепроницаемых слоев, дренирующего слоя, защитного слоя, отсыпаемого из потенциально плодородного грунта, и плодородного слоя почвы, устройства газоотводных скважин и проведения биологического этапа рекультивации.

*Строительное направление рекультивации* закрытых полигонов возможно только после вывоза всего свалочного грунта. Строительство каких-либо закрытых помещений на территории закрытого полигона без вывоза свалочного грунта не допускается. При вывозе свалочного грунта жилищное строительство может быть разрешено только после проведения соответствующих санитарно-бактериологических исследований.

Рекультивацию полигона выполняют в два этапа: технический и биологический.

*Технический этап* рекультивации включает исследования состояния свалочного грунта и его воздействие на окружающую природную среду, подготовку территории полигона к последующему целевому ее использованию.

*Биологический этап* рекультивации включает мероприятия по восстановлению территорий закрытых полигонов для их дальнейшего целевого использования. К ним относят комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель. Биологический этап осуществляется вслед за техническим этапом рекультивации.

Для проведения рекультивации разрабатывают проектно-сметную документацию. При этом обязательной является следующая документация:

исходный топографический план полигона на начало проведения работ по рекультивации;

генплан после рекультивации;

вертикальная планировка;

схема перемещения свалочного грунта в случае его удаления;

технология проведения рекультивации;

пояснительная записка, в которой отражают характеристику свалочного грунта на всю глубину почв и пород, завозимых для рекультивации, материалов и технических изделий, применяемых в системе дегазации;

качественный и количественный подбор ассортимента растений и удобрений;

сметы на проведение работ.

Основные исходные данные для проектирования рекультивации: год открытия полигона; год закрытия полигона; вид принимаемых отходов (бытовые, промышленные, строительные); расстояние от полигона до ближайших градообразующих объектов, км; общая площадь отчуждения, га; площадь, занятая непосредственно отходами, га; общий объем накопления отходов, тыс. м<sup>3</sup>; высота слоя отходов (в том числе над уровнем земли, м); верхний слой изолирующего материала (грунт, шлак, строительные отходы и т. д.); толщина верхнего слоя изоляции, м; характеристика местности, на которой расположен полигон (лес, болото, поле, овраг, карьер, селитебная зона, район новостройки и т. д.); ведомственная принадлежность прилегающих земель; предполагаемое целевое использование данной территории впоследствии; расстояние от места складирования почвенного грунта до закрытого полигона, км; самозаращение полигона, %; вид растений; вид кустарников; вид деревьев; густота травостоя, %; возраст деревьев.

При выполнении рекультивационных работ откосы выполаживают бульдозером, грузят экскаватором и автотранспортом, доставляют на рекультивируемую территорию закрытого полигона плодородные и потенциально плодородные грунты, которые послойно разравнивают бульдозером по поверхности полигона, создавая рекультивационный слой. На этом технический этап рекультивации заканчивается.

Толщину потенциально плодородного слоя принимают в зависимости от принятого целевого последующего использования территории закрытого полигона, м: под пашню — 0,7; под сенокосы — 0,6; под лесопосадки — 1...2. Толщину плодородного слоя принимают, м: под пашню — 0,3...0,4; под сенокосы — 0,2...0,3; под лесопосадки — 0.

Технический этап рекультивации состоит из процессов стабилизации, выполаживания и террасирования, сооружения системы де-

газации, создания рекультивационного многофункционального покрытия, передачи участка для проведения биологического этапа рекультивации.

Если полигон возвышается над уровнем земли более чем на 1,5 м, то внешние откосы его выполаживают, для высотных полигонов на откосах устраивают террасы.

Внешние откосы полигона выполаживают бульдозерами, перемещающими свалочный грунт с верхней бровки полигона в сторону нижней бровки путем последовательных заходов.

При рекультивации высотных полигонов производят совместное террасирование и выполаживание поверхностей внешних его откосов. Террасы устраивают через каждые 10 м по высоте полигона. Ширину террасы принимают не менее 3 м.

Нормативное заложение внешних откосов принимают в зависимости от целевого использования образующейся территории после закрытия полигона. Уклоны поверхности полей составляют, град, не более: при возделывании сельскохозяйственных культур 2...3, для лугов и пастбищ 5...7, для садов 11, для посадки леса 18. Уклоны поверхностей внешних откосов закрытых полигонов, территории которых используют для организации зон отдыха, лыжных горок и т. д., должны быть не более 25...30 град.

Верхний рекультивационный слой закрытых полигонов состоит из подстилающего потенциально плодородного грунта и насыпного слоя плодородной почвы. В качестве искусственного подстилающего слоя применяют легкие, средние или тяжелые суглинки без гравийно-каменистых включений и другие нетоксичные породы с  $K_f$  не более 0,8 м/сут.

Плодородные и потенциально плодородные грунты на закрытые полигоны завозят из мест временного их складирования или других возможных мест их образования. Завозят эти грунты автотранспортом, а в отдельных случаях скреперами. Планировочные работы выполняют бульдозерами.

По окончании технического этапа участок передают для проведения биологического этапа рекультивации закрытых полигонов. Продолжительность биологического этапа рекультивации составляет 4 года и включает следующие работы: подбор ассортимента многолетних трав, подготовку почвы, посев и уход за растениями.

Нормы высева семян дернообразующих трав приведены далее.

Трава	Норма высева, кг/га	Трава	Норма высева, кг/га
Клевер ползучий	10...12	Регнерия волокнистая	44
Клевер луговой	19...20	Пырей бескорневишный	38
Костер безостый	35...38	Овсяница красная	28...31
Донник	30...31	Овсяница луговая	29...31
Люцерна желтая	15...18	Тимофеевка луговая	15...18
Эспарцет песчаный	75	Мятлик луговой	9...25
Волоснец сибирский	23...25	Полевика белая	14...19
Житняк гребенчатый	23...25	Ежа сборная	18...19

При посеве травосмеси из двух компонентов нормы высева уменьшают на 35 %, а при посеве травосмеси из трех компонентов — на 50 % каждого вида трав.

В первый год проведения биологического этапа рекультивации подготовка почвы включает дискование на глубину до 0,1 м, внесение основного удобрения и предпосевное прикатывание. Затем проводят раздельно-рядовой посев подготовленной травосмеси, которая состоит из двух, трех сортов или более. Подбирают травосмеси из условия обеспечения хорошего задернения территории рекультивируемого полигона с учетом их устойчивости к морозам и засухе, долговечности, быстрого отрастания после скашивания.

При посеве мелкие семена заделывают на глубину 1...1,25 см, крупные — 3...4 см. Расстояние между одноименными рядками 45 см, а между общими рядками 22,5 см.

Уход за посевами в первый год состоит из периодического полива из расчета обеспечения 35...40%-й влажности почвы, скашивания на высоту 10...15 см и подкормку минеральными удобрениями с последующим боронованием на глубину 3...5 см.

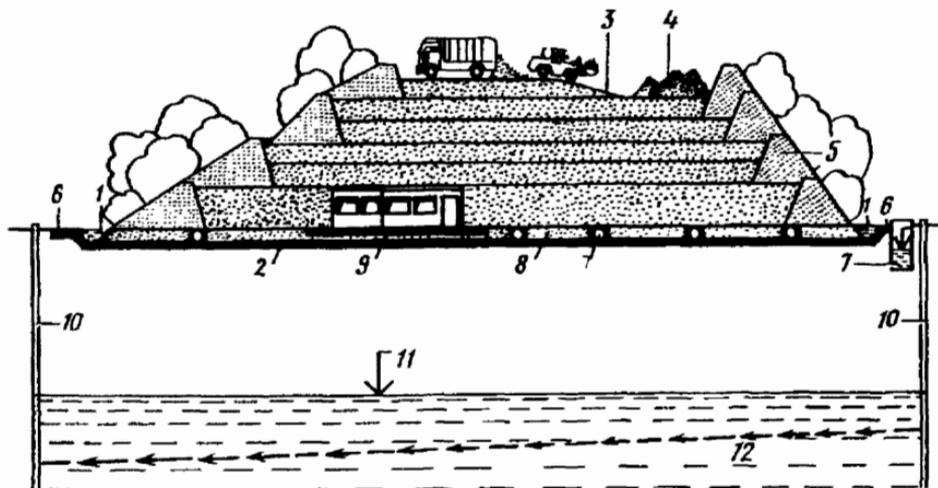
В последующие (второй, третий и четвертый) годы уход за выращиванием многолетних трав сводится к выполнению следующих работ: в весенний период — подкормка азотными удобрениями и боронование на глубину 3...5 см; в летний период — скашивание травы на высоту 5...6 см и подкормка ее минеральными удобрениями из расчета 140...200 кг/га с последующим боронованием на глубину 3...5 см и одноразовым поливом (200 м<sup>3</sup>/га).

Через 4 года после посева трав территорию рекультивируемого полигона передают соответствующему ведомству для последующего целевого использования земель.

Схема формирования «горы» и парка на ней в процессе эксплуатации полигона, его закрытия и проведения рекультивации приведена на рисунке 8.1.

Вопрос о возможности выращивания растений на загрязненных или постепенно загрязняющихся поллютантами почвах решают с учетом следующих факторов: во-первых, при рекультивации и озеленении таких объектов необходимо подобрать наиболее терпимые к конкретному загрязнению виды декоративных растений, хорошо произрастающие в экстремальных условиях атмосферного и почвенного загрязнения и выполняющие при этом фитогигиеническую роль; во-вторых, при выращивании культур важно не только подобрать устойчивые к загрязнению виды растений, но и необходимо, чтобы они по возможности очищали почву от загрязняющих веществ, т. е. проводили фитомелиорацию.

Как показывает практика, исключив источники дальнейшего загрязнения почвы, проводя реабилитацию земель и заняв участки культурами, устойчивыми к поллютантам, и культурами-мелиорантами, можно постепенно снизить содержание загрязняющих ве-



**Рис. 8.1.** Схема формирования «горы» и парка на ней близ Гельзенкирхеа (Германия) в процессе формирования полигона, его закрытия и рекультивации:

1 — канава для отвода просачивающихся вод; 2 — базисное уплотнение (минеральный материал); 3 — полойное сооружение «горы»; 4 — почва для засыпки; 5 — декоративный озелененный защитный вал; 6 — кольцевая дорога; 7 — фильтрационная шахта для просачивающихся вод; 8 — поверхностный дренаж (30 см гравия); 9 — входной контроль и весы; 10 — колодцы для наблюдения за грунтовыми водами; 11 — уровень грунтовых вод; 12 — направление тока грунтовых вод

ществ в почве за счет естественных процессов самоочистения. Часть загрязняющих элементов из почвы выносят сами растения, а часть их вымывается за пределы корнеобитаемого слоя.

Выращивать растения, устойчивые к загрязнениям, рекомендуют на землях, расположенных в зоне влияния свалок и полигонов, отводимых под лесопарковые насаждения или полосы озеленения.

Биологический этап рекультивации нарушенных земель применяют в основном на заключительном этапе восстановления земель, выполняемого вслед за нанесением слоя условно чистого грунта или внесения химвелиорантов.

Однолетние и многолетние травосмеси с неглубокой корневой системой предназначены для озеленения аллей и ограничены для сенокосов, проводимых при предварительном восстановлении земель на глубину не менее 40 см.

При восстановлении земель на глубину 60 см эти участки можно использовать для лесонасаждений в целях озеленения и как почвозащитные лесополосы. При лесной рекультивации целесообразно создание лесонасаждений, выполняющих хозяйственно-защитные, санитарно-гигиенические, озеленительные и рекреационные функции.

Фитомелиорацию проводят в таком порядке:  
создают плодородный слой;

проводят агротехнические работы (обработка почвы, подготовка удобрений и внесение их в почву с последующим боронованием в два следа и предпосевное прикатывание, подготовка травосмесей и засев поверхности свалки);

сеют фитомелиоранты в четыре этапа:

первый — вспашка, дискование и рыхление почвы перед пробным посевом;

второй — пробный посев трав для оценки остаточной фитотоксичности почвы;

третий — проверяют всхожесть семян на данной почве (при отрицательном результате повторяют);

четвертый — посев трав спустя 1,5...2,5 года после закрытия свалки или полигона, если пробный посев трав дал всходы не менее чем на 75 % площади.

В качестве растений-фитомелиорантов, способных выносить из почвы загрязняющие вещества, используют тимофеевку луговую, мятлик луговой и сплюснутый, костер безостый, овсяницу красную, клевер ползучий, люцерна рогатый;

сеют дернообразующие травы после предпосевной обработки почвы раздельно-рядовым посевом подготовленной травосмеси, состоящей из двух, трех компонентов и более (семена для травосмеси подбирают из условия обеспечения хорошего задернения территории рекультивируемой свалки или полигона);

подбирают ассортимент трав, древесные и кустарниковые породы, способные расти на загрязненных почвах, учитывают биопригодность почвы и местоположение рекультивируемого участка, биологические свойства растений, целевое назначение насаждений, комплекс и особенности предварительно проведенных восстановительных мероприятий. Так, при предварительном внесении в почву химмелиорантов хорошо растут ромашка аптечная, календула, бессмертник, а на лессовидных суглинках без землевания — звербой, подорожник, астрогон, стальник. Для создания лужаек рекомендуют высевать люцерна рогатый, клевер ползучий, овсяницу луговую, лисохвост, ежу сборную;

подбирают ассортимент древесных и кустарниковых пород для парковых насаждений, устойчивых к загрязнению окружающей среды в условиях города, учитывают пригодность использования восстановливаемых земель под парк, местоположение участка, биологические свойства растений, целевое назначение насаждений;

формируют и высаживают смешанные парковые культуры;

создают разделительные полосы с кустарниково-травянистой растительностью шириной 10 м (одновременно они служат и как противопожарные);

предусматривают на разделительных полосах по возможности небольшие водоемы, необходимые для расселения земноводных животных;

создают по краю водоемов водорегулирующие и почвозащитные насаждения, а по краю полосы с целью ускорения заселения парковых посадок полезными животными высаживают плодово-ягодные кустарники.

Продолжительность биологического этапа рекультивации от 2 до 5 лет и более в зависимости от почвенно-климатических условий, степени первоначального загрязнения и предварительной очистки участка.

Травы, используемые для рекультивации, должны быть апробированных сортов и местных популяций.

Высаживаемые растения должны быстро акклиматизироваться, обладать устойчивостью к неблагоприятным климатическим условиям, отрицательным физическим и химическим свойствам грунта, иметь сильно развитую корневую систему, обладать способностью к симбиозу с микроорганизмами.

Рекомендуемые травы и нормы их высева, используемые для предварительной детоксикации почвы в лесной зоне, приведены далее.

Трава	Нормы высева, кг/га	Трава	Нормы высева, кг/га
Тимофеевка луговая	25	Волоснец сибирский	35
Овсяница луговая	35	Регнерия волокнистая	30
Мятлик луговой	25	Житняк гребенчатый	20
Полевица белая	15	Райграс высокий	36
Лисохвост луговой	30	Люцерна синяя	20
Овсяница луговая	25	Клевер луговой	20
Ежа сборная	35	Донник желтый	30
Костер безостый	35	Эспарцет песчаный	120

При формировании парков рекомендуют следующие породы древесных и кустарниковых культур. Для посадки на потенциально плодородных почвах восстанавливаемого участка рекомендуют высаживать следующие древесные породы: березу бородавчатую, сосну обыкновенную, тополи, клены ясенелистый, татарский и полевой, иву козью, липу мелколистную, рябину, а из кустарниковых — смородину золотистую, спирею калинолистную, шиповник, свидину, ольху серую, акацию желтую, лох узколистный, жимолость татарскую, облепиху обыкновенную.

На почвах со значительной остаточной токсичностью рекомендуют выращивать малотребовательные древесные и кустарниковые породы, например березу бородавчатую, тополи, клен татарский, ольху серую, вишню степную, смородину золотистую, акацию желтую, спирею, жимолость татарскую, лох узколистный, облепиху, а на слаботоксичных, но сильнокислотных почвах — сосну обыкновенную, березу бородавчатую, акацию желтую, лох мелколистный, жимолость татарскую, спирею клинолистную, облепиху, смородину золотистую, клен ясенелистый, тополи, ольху серую. В междурядьях проводят ленточный посев бобовых (люпина и донника).

Для формирования экологически устойчивых насаждений создают парки из смешанных культур: до 60 % — главных пород, 20 — сопутствующих, до 20 % — кустарников.

Через каждые 200...300 м устраивают разделительные полосы шириной 10 м с кустарниково-травянистой растительностью.

Запрещается употреблять в пищевых и кормовых целях растительную продукцию, выращенную на загрязненной почве, до окончания рекультивации.

---

## 9. СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СВАЛОК И ПОЛИГОНОВ ТБО

●

В последнее время во многих развитых странах особое внимание уделяется опасным бытовым отходам. Список их содержит свыше 200 наименований, разделенных на 8 категорий (бытовые чистящие средства, автомобильная косметика, лакокрасочные изделия, пестициды, источники электропитания, осветительные приборы и др.).

Например, в Канаде и некоторых других странах принято подразделять опасные бытовые отходы на четыре категории:

коррозионные, т. е. химически активные вещества, способные разрушать другие вещества и материалы (аккумуляторные кислоты, очистители и т. д.);

огнеопасные жидкости (бензин, скипидар и т. д.);

реактивные вещества, при реакции с которыми выделяются ядовитые пары или происходят взрывы (отбеливатели на основе хлорной извести, чистящие вещества на основе аммиака и др.);

токсичные, ядовитые и смертельные для человека и животных вещества даже в незначительных количествах (пестициды, хлорная известь, ряд лекарственных препаратов).

Единственным разумным решением проблемы опасных бытовых отходов специалисты считают повсеместную организацию всевозможных стационарных и передвижных пунктов приема их от населения с последующим обезвреживанием на специализированных предприятиях. Однако их накопилось в достаточных количествах на свалках ТБО.

В Германии зарегистрировано более 50 тыс. отработанных свалок бытовых и промышленных отходов. По оценке Федерального министерства по охране окружающей среды, 10...20 % из них являются источниками загрязнения природной среды и требуют санирования.

Немецкие специалисты отмечают, что при разработке способов обезвреживания мест, загрязненных отходами, требуется проведе-

ние научных исследований, направленных на реализацию новых идей. Разнообразие и сложность задач не позволяют дать общие рекомендации — для каждого случая нужна своя конкретная стратегия. Вместе с тем имеется несколько принципиальных технологий обезвреживания, основанных на гидравлических, биологических, физических, физико-химических и других методах, которые сводятся к двум направлениям.

Первое — удаление загрязнений путем замены свалочного грунта. Технология замены свалочного грунта требует изъятия и транспортировки его для перезахоронения на специально подготовленные полигоны либо к месту обезвреживания. Однако из-за недостатка пригодных земельных площадей свалочный грунт перезахоранивают крайне редко и на перспективу не планируется.

Второе — локализация и предотвращение распространения загрязнений, источником которых являются свалки. Для этого применяют разнообразные технологические приемы — различные методы растворения и экстракции токсичных веществ, промывка, паровоздушная и термическая обработка свалочных грунтов, озонирование, фильтрование, остеклование и другие физико-химические приемы.

Обезвреживают свалочные грунты с помощью передвижных установок на месте их выемки или централизованно на специализированных предприятиях.

К методам санирования старых свалок без выемки свалочного грунта относится удаление вредных веществ из рассматриваемых объектов с помощью транспортирующей среды — газа или воды путем отсоса воздуха через свалочный грунт или гидравлическим способом.

При отсосе воздуха через свалочный грунт из него удаляются легколетучие соединения. Применение этого способа ограничено на малосвязанных и песчаных слабо насыщенных водой грунтах, что требует сооружения на всей поверхности свалки защитного покрытия. Отсасываемый через вакуумный колодец воздух перед выбросом в атмосферу очищают в фильтре с активированным углем.

При санировании свалки, свалочный грунт которой был загрязнен полихлорированным бифенилом, легколетучими хлорпроизводными углеводородами, содержащимися в растительных маслах, отсос воздуха был первым этапом комплекса работ. Второй этап санирования — микробиологическая очистка. При начальном загрязнении, достигавшем 175 мг хлорпроизводных углеводородов на 1 кг грунта, после обезвреживания концентрация снизилась до 1 мг на 1 кг грунта. Содержание хлорпроизводных углеводородов в отсасываемом воздухе после прохождения его через фильтр с активированным углем уменьшилась до 0,01 мг на 1 м<sup>3</sup>.

Гидравлический способ санирования применяют, когда вещества, загрязняющие свалочный грунт, растворяются в воде или при загрязнении грунтовых вод. Суть его в том, что дальнейшее распро-

странение вредных веществ локализуется путем образования опускающейся воронки и откачиваемая вода очищается от примесей. Для этого по направлению стока грунтовых вод закладывают нагнетательные и водозаборные колодцы. Откачиваемые грунтовые воды после очистки (активированным углем, биологическим способом или экстракцией) используют для орошения территории свалки.

Для использования этой технологии необходимо знать гидромеханические характеристики загрязняющих веществ, воды и воздуха в теле свалки.

Хлорпроизводные углеводороды из грунтовых вод в этом случае удаляют с помощью двухступенчатой установки для отгонки легких фракций.

Если в грунте присутствуют микробиологически растворимые вещества (ароматические, алифатические и подобные им, содержащиеся в растительных маслах углеводороды), то после откачки и очистки грунтовых вод и фильтрата собственно свалочный грунт подвергают, как правило, микробиологической очистке.

Присутствие в свалочном грунте смешанных загрязнителей (как органических, так и неорганических) требует применения физико-химических способов его очистки. Передвижные установки производительностью до 30 м<sup>3</sup>/ч, используемые в этом случае, способны обезвреживать грунты, загрязненные тяжелыми металлами, полициклическими и ароматическими углеводородами.

К физическим способам обезвреживания относится технология «вымывания» загрязнений с помощью органических растворителей, поверхностно-активных веществ, пара.

Технологии биологического обезвреживания свалочных грунтов основываются на возможности разрушения содержащихся в них вредных веществ. Известно много видов бактерий, актиномицетов и грибов, способных разрушать органические соединения. Решающее влияние на скорость разрушения оказывают температура и влажность среды (свалочного тела грунта), наличие кислорода, углерода, азота и фосфора — основных питательных веществ для микроорганизмов, а также их соотношение. Поскольку бактерии в качестве источника питательных веществ могут использовать только жидкие биологически разрушаемые соединения, свалочный грунт должен быть достаточно увлажнен. На практике биологическое обезвреживание проводят за счет повышения активизации имеющихся в теле свалки микроорганизмов к разрушению загрязнений.

Если это невозможно, то грунт после предварительной обработки засыпают в бурты или специальные контейнеры. На эффективность и сокращение длительности процесса микробиологического разложения (наряду с наличием в достаточном количестве поглощающей вредные вещества микрофлоры) большое значение оказывает выбор параметров процесса — подача питательного раствора, кислорода и микроэлементов, температура, другие физические характеристики.

Необходимо отметить, что оба способа биологического обезвреживания свалочных грунтов требуют значительных материальных и временных затрат.

Наиболее перспективной считают технологию выжигания и прокаливания загрязненных свалочных грунтов, или термическое санирование. Этот способ применяют, когда имеется загрязнение вредными органическими веществами, в том числе маслами, смолами, нефтепродуктами. В Германии и Нидерландах для термического санирования используют передвижные установки вращающихся трубчатых печей, где на первой ступени при 400...450 °С предварительно выжигают вредные примеси, а на второй прокаливают при более высокой температуре (происходят термическое разложение и обезвреживание загрязнений). Установки укомплектованы необходимым газоочистным оборудованием.

Сегодняшние трудности в использовании технологий термосанирования свалок связаны с их высокой энергоемкостью и как результат — большими материальными затратами. Решающее значение для повышения экономичности этого метода имеют вид применяемого топлива, способы очистки дымовых газов и утилизации энергии.

Технология так называемой иммобилизации в общем случае основана на закреплении, фиксации или химической иммобилизации вредных веществ в свалочных грунтах, с тем чтобы воспрепятствовать дальнейшему выбросу их в биосферу. С этой целью свалочный грунт вынимают и обрабатывают специальными реактивами в специальном автоматическом смесителе. Особая дозирующая система даже при небольшом содержании химикатов обеспечивает равномерное смачивание и спонтанную химическую реакцию. В процессе обработки происходит химическое преобразование вредных веществ в нерастворимые в воде нетоксичные соединения.

Основной метод локализации и предотвращения распространения загрязнений, часто называемый капсуляцией, позволяет устранить такие опасности, исходящие от свалок, как загрязнение грунтовых вод, загазованность атмосферы, поверхностная эрозия почвы. Важнейшие составные части капсуляции — создание горизонтальных герметичных оснований, устройство вертикальных герметичных стен и плотная заделка поверхности свалки. В качестве герметичных оснований чаще всего рассматривают естественные геологические преграды в виде практически непроницаемых слоев глины или суглинка. Вертикальные герметичные стенки возводят, как правило, по технологии «стена в грунте» с заполнением их смесью бентонита с цементом. Технология заделки герметизирующей массой на основе кальциевого бентонита, шлакопортландцемента и специальных присадок позволяет изготавливать практически водонепроницаемые секции гидроизолирующих стен.

Для капсуляции свалки бытовых отходов в Германии была применена апробированная в США технология возведения «стен в

грунте» с применением одноковшового экскаватора типа обратная лопата. Глубина стен составила около 13 м. По поверхности свалки было выполнено специальное многослойное покрытие, которое обеспечило изоляцию свалочного грунта, снижение до минимума инфильтрации поверхностных вод, а также устранило неконтролируемую эмиссию биогаза и вынос пылеобразных вредных веществ в окружающую среду. Как правило, таким требованиям отвечает только высококачественная многослойная система герметизации, разрабатываемая для конкретных условий в каждом случае.

В качестве примера можно привести следующую схему (слои снизу вверх): волокнистый холст; изолирующий слой 35 см из минерального грунта, уложенный послойно в двух уровнях (20 и 15 см); дренажный слой (шпатовый барьер) толщиной 20 см со встроенными дренажными каналами; потенциально чистый грунт слоем 60 см; потенциально плодородный грунт слоем 30 см; плодородный слой (15...20 см) почвы.

Для устройства изолирующего слоя (герметика) используют смесь минеральных веществ с присадкой из бентонита. Для изготовления герметика применяли стационарный смеситель с системой управления процессом, точным дозированием и перемешиванием компонентов. Полученный таким образом герметик можно укладывать почти при любых погодных условиях. Эти показатели позволили уменьшить толщину изолирующего слоя до 35 см.

## ЛИТЕРАТУРА

- Временные правила охраны окружающей среды от отходов производства и потребления /Введены приказом № 01-15/29-2115 от 21.07.94. — М., 1995.
- Временное положение о порядке работ по рекультивации несанкционированных свалок в г. Москве /ТСН 11-30/97. — М., 1997. — 29 с.
- Временный классификатор токсичных промышленных отходов и методические рекомендации по определению класса токсичности промышленных отходов. — М.: Минздрав СССР, 1987.
- Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. — М.: Минстрой РФ, 1996.
- Инструкция по проектированию и эксплуатации полигонов для твердых бытовых отходов. — М.: Стройиздат, 1983. — 40 с.
- Критерии оценки экологической обстановки для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. — М.: МГУП, 1992.
- Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. — М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 1992.
- Методические рекомендации по нормированию размещения отходов в регионе. Экологические требования к размещению отходов производства и потребления. — М., 1996. — 26 с.
- Охрана окружающей среды. — М.: Высшая школа, 1983. — 264 с.
- Покровская С. Ф. Новые тенденции в компостировании городских отходов /Зарубежный опыт. — М., 1991.
- Пойкер Х. Культурный ландшафт: формирование и уход /Пер. с нем. В. В. Цветкова. — М.: Агропромиздат, 1987. — 176 с.
- Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России /Под ред. В. Ф. Протасова. — М.: Финансы и статистика, 1995. — 528 с.
- Пупырев Е. И. Опыты конструктивной экологии. — М.: Прима-Пресс, 1997. — 142 с.
- Пупырев Е. И. Система экомониторинга Москвы (состояние и перспектива). В кн. «Экология большого города». — М.: Прима-Пресс, 1996. — 180 с.
- Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник /Под ред. д-ра техн. наук А. Н. Мирного. — М.: АКХ, 1997. — 320 с.
- Соломин И. А., Сметанин В. И. Переработка строительных отходов (на примере г. Москвы). В кн. «Природообустройство — важная деятельность человека». — М.: МГУП, 1998. — 223 с.
- Твердые отходы: (Возникновение, сбор, обработка и удаление). Сокр. пер. с англ. /Под ред. Ч. Мантелла. — М.: Стройиздат, 1979. — 519 с.

Требования к качеству вод и их осадков, используемых для орошения и удобрения. — М.: Минсельхозпрод РФ, 1995. — 36 с.

Уголовный кодекс Российской Федерации. — М.: ТЕИС, 1996. — 176 с.

Федеральный классификационный каталог отходов /Приложение к приказу Госкомэкологии России от 27.11.97 № 527. — М.: Госкомитет РФ по охране окружающей среды, 1997.

Черп О. М., Виниченко В. Н. Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход. — М.: Эколайн, 1996. — 48 с.

Экология, охрана природы и экологическая безопасность /Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. — М.: МНЭПУ, 1997. — 425 с.

Ясинецкий В. Г., Фенин Н. К. Организация и технология гидро-мелиоративных работ. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1986. — 352 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i> .....	3
<b>1. Общие сведения об отходах, их видах, образовании и воздействии на окружающую среду</b> .....	5
1.1. Отходы производства .....	8
1.2. Отходы сельского хозяйства .....	15
1.3. Отходы потребления .....	16
<b>2. Организация защиты окружающей среды в системе обращения с отходами</b> .....	22
2.1. Основные положения системы управления отходами в городах и населенных пунктах .....	22
2.2. Классификация и кодирование отходов .....	30
2.3. Нормирование объемов образования и размещения отходов .....	32
2.4. Экологический контроль в системе обращения с отходами .....	44
<b>3. Обезвреживание и переработка твердых бытовых отходов</b> .....	46
3.1. Промышленные технологии обезвреживания отходов, применяемые в системе санитарной очистки городов и населенных пунктов .....	46
3.2. Состав и свойства отходов, учитываемые при выборе промышленной технологии переработки ТБО .....	51
3.3. Особенности захоронения отходов на свалках и полигонах .....	56
3.4. Термические методы переработки отходов .....	64
3.4.1. Сжигание предварительно не подготовленных отходов .....	64
3.4.2. Сжигание специально подготовленных отходов .....	78
3.4.3. Пиролиз отходов .....	79
3.5. Переработка твердых бытовых отходов компостированием .....	85
3.5.1. Аэробное компостирование твердых бытовых отходов в промышленных условиях .....	86
3.5.2. Аэробное компостирование твердых бытовых отходов в полевых условиях .....	92
3.5.3. Анаэробное компостирование твердых бытовых отходов .....	99
<b>4. Обезвреживание отходов в сельском хозяйстве</b> .....	101
4.1. Обезвреживание и использование отходов животноводства .....	101
4.1.1. Обезвреживание и использование отходов птицеводства .....	102
4.1.2. Обезвреживание и использование отходов свиноводства .....	105
4.2. Переработка органических отходов с помощью дождевых червей .....	114
<b>5. Переработка и вторичное использование отходов производства и потребления (рециркуляция отходов)</b> .....	119
5.1. Переработка и вторичное использование макулатуры .....	122
5.2. Текстильные отходы и их переработка .....	125
5.3. Отходы кожи и их переработка .....	128
5.4. Переработка полимерных отходов .....	136
5.5. Переработка и утилизация отходов резины и изношенных автомобильных шин (покрышек) .....	145
5.6. Переработка и утилизация стеклобоя .....	157
5.7. Древесные отходы .....	161
5.8. Отработанные моторные масла и их регенерация .....	173

5.9. Утилизация амортизированных и брошенных автомобилей .....	175
5.10. Утилизация металлических банок из-под напитков .....	179
5.11. Переработка строительных отходов .....	180
<b>6. Основные положения проектирования полигонов для обезвреживания и захоронения твердых бытовых отходов .....</b>	<b>186</b>
6.1. Общие положения .....	186
6.2. Выбор участка под полигон и изыскательские работы .....	190
6.3. Расчет вместимости полигона .....	191
6.4. Проектирование основных элементов полигона и инженерно-технических мероприятий, направленных на уменьшение негативного воздействия отходов на окружающую среду .....	192
6.4.1. Компонировка основных сооружений полигона .....	192
6.4.2. Проектирование участка складирования .....	193
6.4.3. Хозяйственная зона и инженерные сооружения .....	196
6.4.4. Проектирование внутреннего дренажа для сбора и отвода фильтрата. Очистка и обезвреживание фильтрата .....	197
6.4.5. Мероприятия, направленные на уменьшение негативного воздействия биогаза на окружающую среду .....	206
<b>7. Эксплуатация полигонов и организация мониторинга в зоне захоронения отходов .....</b>	<b>208</b>
7.1. Эксплуатация полигонов .....	208
7.2. Мониторинг природной среды на объектах утилизации отходов .....	210
<b>8. Закрытие полигона, рекультивация и передача участка под дальнейшее использование .....</b>	<b>213</b>
<b>9. Способы уменьшения негативного воздействия свалок и полигонов ТБО .....</b>	<b>222</b>
<i>Литература .....</i>	<i>227</i>

Учебное издание

**Сметанин Владимир Иванович**

**ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
ОТ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПОТРЕБЛЕНИЯ**

Учебное пособие для вузов

Художественный редактор *Т. И. Мельникова*

Технический редактор *М. Н. Кулешова*

Корректор *Л. Г. Новожилова*

Лицензия № 010159 от 06.03.97 г.

Сдано в набор 03.03.2000. Подписано в печать  
21.07.2000. Формат 60 × 88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,21.  
Усл. кр.-отт. 14,33. Уч.-изд. л. 16,03. Изд. № 022.  
Тираж 2000 экз. Заказ № 2006 . «С» № 064.

Федеральное государственное ордена  
Трудового Красного Знамени унитарное предприятие  
«Издательство «Колос», 107807, ГСП-6, Москва, Б-78,  
ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография ОАО «Внешторгиздат»,  
127576, Москва, Илимская, 7.



ISBN 5-10-003504-8



9 785100 035046